



**TUGAS AKHIR TK 145501**

**PEMBUATAN BIOETANOL DARI ALGA HIJAU  
(*CHAETOMORPHA*) DENGAN PROSES HIDROLISA  
ENZIM DAN FERMENTASI**

Fajar Arif Widodo  
NRP. 2312 030 004

Istiqfarin  
NRP. 2312 030 072

Dosen Pembimbing:  
Prof.Dr.Ir.Soeprijanto,M.Sc

**PROGRAM STUDI DIII TEKNIK KIMIA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**



**FINAL PROJECT TK 145501**

**BIOETHANOL MANUFACTURE FROM GREEN ALGAE  
(*CHAETOMORPHA*) USING ENZYMATIC  
HYDROLYSIS AND FERMENTATION PROCESS**

Fajar Arif Widodo  
NRP. 2312 030 004

Istiqfarin  
NRP. 2312 030 072

Lecturer  
Prof.Dr.Ir.Soeprijanto,M.Sc

**DEPARTMENT DIPLOMA OF CHEMICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2015**

**LEMBAR PENGESAHAN  
LAPORAN TUGAS AKHIR DENGAN JUDUL :  
PEMBUATAN BIOETANOL DARI ALGA  
HIJAU (*CHAETOMORPHA*) DENGAN  
PROSES HIDROLISA ENZIM DAN  
FERMENTASI**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**Dosen Pembimbing**



**Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, MSc.**  
**NIP. 19580708 198701 1 001**

Mengetahui,

**Ketua Program Studi**

**D III Teknik Kimia FTI-ITS**



**Ir. Budi Setiawan, M.T.**

**NIP. 19540220 198701 1 001**

**Koordinator Tugas Akhir**

**D III Teknik Kimia FTI-ITS**



**Achmad Ferdiansyah P. P., S. T., M. T.**

**NIP. 2300201308002**

# LEMBAR PERSETUJUAN PERBAIKAN TUGAS AKHIR

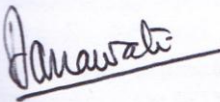
Telah diperiksa dan disetujui sesuai dengan hasil ujian tugas akhir pada tanggal 16 Juni 2015, untuk tugas akhir dengan judul **“PEMBUATAN BIOETANOL DARI ALGA HIJAU (*CHAETOMORPHA*) DENGAN PROSES HIDROLISA ENZIM DAN FERMENTASI”** yang disusun oleh :

**FAJAR ARIF WIDODO**  
**ISTIQFARIN**

**(2312 030 004)**  
**(2312 030 072)**

**Mengetahui/menyetujui**

**Dosen Penguji**



**Prof. Dr. Ir. Danawati Hari P., M. Pd**  
**NIP. 19510729 198603 2 001**

**Dosen Penguji**

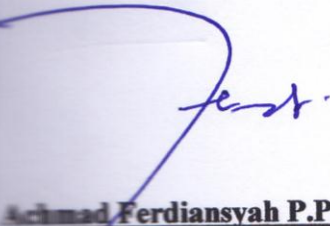


**Ir. Elly Agustiani, M. Eng**  
**NIP. 19580819 198503 2 003**

**Mengetahui,**

**Koordinator Tugas Akhir**

**Dosen Pembimbing**



**Achmad Ferdiansyah P.P., S.T., M.T.**  
**NIP. 2300201308002**



**Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, MSc.**  
**NIP. 19580708 198701 1 001**

## **Pembuatan Bioetanol dari Alga Hijau (*Chaetomorpha*) dengan Proses Hidrolisa Enzim dan Fermentasi**

Nama Mahasiswa : 1. Fajar Arif Widodo 2312 030 004  
2. Istiqfarin 2312 030 072  
Program Studi : D3 Teknik Kimia FTI-ITS  
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc.

### **ABSTRAK**

*Kebutuhan bahan bakar fosil dari setiap tahunnya selalu mengalami peningkatan, namun hal ini tidak diimbangi oleh bahan bakar fosil yang tersedia. Bioetanol ( $C_2H_5OH$ ) salah satu bahan bakar alternatif dan terbarukan. Alga Hijau (*Chaetomorpha*) merupakan bahan baku yang dapat dijadikan bioetanol.*

*Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui potensi Alga Hijau (*Chaetomorpha*) untuk dijadikan etanol melalui proses hidrolisa enzim dan fermentasi.*

*Alga dikeringkan menggunakan oven pada suhu  $60^{\circ}C$  selama 24 jam, kemudian dihaluskan. Liquefikasi, tepung alga ditambahkan air hingga volume 2 liter,  $CaCl_2$  40 ppm, enzim  $\alpha$ -amilase 2-5%(w/v) dan dipanaskan pada suhu  $90^{\circ}C$ - $100^{\circ}C$  selama 2 jam. Sakarifikasi, larutan ditambah HCl hingga pH 4, enzim glukoamilase 2-5% (w/v) dan dipanaskan pada suhu  $60^{\circ}C$  selama 4 jam. Fermentasi, larutan ditambahkan urea, yeast dan NPK dan diinkubasi selama 72 jam. Kemudian mendistilasi untuk mendapatkan etanolnya. Di setiap tahapnya dilakukan analisa kadar gula reduksi.*

*Hasil penelitian ini menunjukkan kadar gula reduksi setelah proses hidrolisa enzim pada konsentrasi alga 10% (w/v), 30% (w/v) dan 40% (w/v) dengan variasi penambahan enzim 2% dan 5% sebesar 19,64 g/l; 57,89 g/l; 64,62 g/l, 29,72 g/l; 91,67 g/l; dan 122,22 g/l. Konsentrasi alga optimum untuk proses fermentasi 72 jam diperoleh pada konsentrasi 40%(w/v) yang menghasilkan kadar etanol sebesar 8,16 %*

**Kata kunci: Bioetanol, Alga hijau, *Chaetomorpha***



## ***Bioethanol Manufacture from Green Algae (Chaetomorpha) using Enzymatic Hydrolysis and Fermentation Process***

Students : 1. Fajar Arif Widodo 2312 030 004  
2. Istiqfarin 2312 030 072  
Department : D3 Chemical Engineering FTI-ITS  
Supervisor : Prof. Dr. Ir. Soeprijanto, M.Sc.

### **ABSTRACT**

*The demand of fossil fuel always increases every year, yet it is not offset by the available fossil fuel source. Bioethanol ( $C_2H_5OH$ ) is one of the alternative and renewable fuels. Green algae (Chaetomorpha) is a potential raw material in bioethanol manufacture.*

*The aim of this study is to determine the potential of Green Algae (Chaetomorpha) to utilize as raw material in ethanol manufacture using enzymatic hydrolysis and fermentation process.*

*Alga is dried using oven at 60°C for 24 hours, then ground. Liquefaction, the algae flour is mixed with water until the solution volume is 2 litre, also 40 ppm  $CaCl_2$ , 2-5%(w/v)  $\alpha$ -amylase enzyme, and heated at 90°C-100°C for 2 hours. Saccharification, HCl is added in the solution to increase the pH value to 4, 2-5% (w/v) glucoamylase enzyme, and heated again at 60°C for 4 hours. Fermentation, the solution is mixed with urea, yeast, and NPK, and incubated for 72 hours. Then, the fermentation broth is distilled to obtain its ethanol content. The analysis of reducing sugar is conducted in every step of experiment.*

*This experimental result shows the reducing sugar content after enzymatic hydrolysis at algae concentration 10% (w/v), 30% (w/v), and 40% (w/v) and with variation of 2% and 5% enzyme addition is 19,64 g/l; 57,89 g/l; 64,62 g/l, 29,72 g/l; 91,67 g/l; and 122,22 g/l. The optimum algae concentration for 72 hours fermentation process is obtained at concentration 40%(w/v), which producing 8,16 % ethanol content.*

***Keywords: Bioethanol, Green Algae, Chaetomorpha***

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur Alhamdulillah kami panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga kami dapat melaksanakan tugas akhir dan penyusunan laporan ini. Tugas Akhir ini untuk memperoleh gelar ahli madya. Selama melaksanakan tugas akhir dan penyusunan laporan ini kami telah banyak memperoleh bantuan baik moriil maupun materiil, untuk itu kami mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT karena atas rahmat dan kehendak-Nya kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini
2. Yang tercinta, Bapak dan Ibu, serta keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi secara moriil dan materiil serta do'a.
3. Bapak Ir. Budi Setiawan, MT., selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Kimia FTI – ITS.
4. Bapak Prof.Dr.Ir.Soeprijanto,M.Sc., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing kami dalam pembuatan laporan tugas akhir.
5. Bapak Achmad Ferdiansyah Pradana Putra, S.T, M.T, selaku Koordinator Sie- Tugas Akhir.
6. Ibu Prof.Dr.Ir.Danawati Hari Prajitno,M.Pd, dan Ibu Ir.Elly Agustiani, M.Eng, selaku dosen penguji sidang tugas akhir.
7. Teman-teman Mahasiswa Program Studi DIII Teknik Kimia yang tercinta.

Kami menyadari bahwa laporan ini masih terdapat kekurangan, oleh karena itu kami sangat dan kritik dari semua pihak untuk menyempurnakan laporan ini. Kami selaku penyusun memohon maaf kepada semua pihak.

Surabaya, Juni 2015  
Penyusun

## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>viii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	I-1
1.2. Perumusan Masalah .....	I-3
1.3. Batasan Masalah .....	I-3
1.4. Tujuan Inovasi Produk .....	I-3
1.5. Manfaat Inovasi Produk .....	I-4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Bioetanol .....	II-1
2.2. Alga Hijau ( <i>Chaetomorpha</i> ) .....	II-5
2.3. Pati .....	II-6
2.4. Hidrolisa .....	II-8
2.5. Fermentasi .....	II-12
<b>BAB III METODOLOGI PEMBUATAN PRODUK</b>	
3.1. Tahap Pelaksanaan .....	III-1
3.2. Bahan yang Digunakan .....	III-1
3.3. Peralatan yang Digunakan .....	III-2
3.4. Variabel yang Digunakan .....	III-3
3.5. Prosedur Pembuatan .....	III-3
3.6 Diagram Alir Pelaksanaan Inovasi .....	III-7
3.7 Diagram Blok Proses Pembuatan .....	III-14
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1. Hasil Analisa Kandungan Pati .....	IV-1
4.2. Hasil Analisa Kandungan Gula Reduksi setelah Proses Liquifikasi .....	IV-1
4.3. Hasil Analisa Yield setelah Proses Liquifikasi .....	IV-3
4.4 Hasil Analisa Kandungan Gula Reduksi Setelah Proses Sakarifikasi .....	IV-4



4.5. Hasil Analisa Yield setelah Proses Sakarifikasi ...	IV-5
4.6. Proses Etanol pada Proses Etanol .....	IV-7
<b>BAB V NERACA MASSA</b>	
5.1. Neraca Massa Alga Hijau ( <i>Chaetomorpha</i> ).....	V-1
5.2. Neraca Panas .....	V-11
<b>BAB VI ANALISIS KEUANGAN</b>	
6.1. Estimasi Biaya .....	VI-3
6.2 Harga Pokok Penjualan (HPP) .....	VI-3
6.3 <i>Break Even Point</i> (BEP) .....	VI-4
<b>BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
7.1. Kesimpulan .....	VII-1
7.2. Saran .....	VII-1
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	ix
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	x
<b>LAMPIRAN :</b>	
<b>1. APPENDIKS A</b>	
<b>2. APPENDIKS B</b>	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Sifat-sifat Fisika Etanol.....	II-3
<b>Tabel 2.2</b>	Sifat-sifat Bahan Baku .....	II-4
<b>Tabel 5.1</b>	Komposisi Alga Hijau ( <i>Chaetomorpha</i> ).....	V-1
<b>Tabel 5.2</b>	Neraca Massa Total pada Proses Pencucian .....	V-2
<b>Tabel 5.3</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Pencucian .....	V-2
<b>Tabel 5.4</b>	Neraca Massa Total pada Proses Pengeringan ....	V-3
<b>Tabel 5.5</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Pengeringan .....	V-3
<b>Tabel 5.6</b>	Neraca Massa Total pada Proses Penghalusan ....	V-4
<b>Tabel 5.7</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Penghalusan .....	V-4
<b>Tabel 5.8</b>	Neraca Massa Total pada Proses Pencampuran...	V-5
<b>Tabel 5.9</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Pencampuran.....	V-5
<b>Tabel 5.10</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Liquifikasi.....	V-6
<b>Tabel 5.11</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Sakarifikasi .....	V-7
<b>Tabel 5.12</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Fermentasi.....	V-8
<b>Tabel 5.13</b>	Neraca Massa Komponen pada Proses Distilasi .....	V-9
<b>Tabel 5.14</b>	Q Masuk pada Pengeringan Alga Hijau ( <i>Chaetomorpha</i> ).....	VI-1
<b>Tabel 5.15</b>	Q Keluar pada Pengeringan Alga Hijau ( <i>Chaetomorpha</i> ).....	VI-2
<b>Tabel 5.16</b>	Neraca Panas Total pada Pengeringan Alga Hijau ( <i>Chaetomorpha</i> ) .....	VI-2
<b>Tabel 5.17</b>	Q Masuk pada Liquifikasi .....	VI-3
<b>Tabel 5.18</b>	Q Keluar pada Liquifikasi .....	VI-4
<b>Tabel 5.19</b>	Neraca Panas Total pada Liquifikasi .....	VI-4
<b>Tabel 5.20</b>	Q Masuk pada Pendinginan setelah	

	Liquifikasi .....	VI-5
<b>Tabel 5.21</b>	Q Keluar pada Pendinginan setelah Liquifikasi .....	VI-6
<b>Tabel 5.22</b>	Neraca Panas Total pada Pendinginan setelah Liquifikasi .....	VI-6
<b>Tabel 5.23</b>	Q Masuk pada Sakarifikasi .....	VI-7
<b>Tabel 5.24</b>	Q Keluar pada Sakarifikasi .....	VI-8
<b>Tabel 5.25</b>	Neraca Panas Total pada Sakarifikasi .....	VI-9
<b>Tabel 5.26</b>	Q Masuk pada Pendinginan setelah Sakarifikasi .....	VI-10
<b>Tabel 5.27</b>	Q Keluar pada Pendinginan setelah Sakarifikasi .....	VI-11
<b>Tabel 5.28</b>	Neraca Panas Total pada Pendinginan setelah Sakarifikasi .....	VI-11
<b>Tabel 5.29</b>	Q Masuk pada Fermentasi .....	VI-13
<b>Tabel 5.30</b>	Q Keluar pada Fermentasi .....	VI-14
<b>Tabel 5.31</b>	Neraca Panas Total pada Fermentasi .....	VI-15
<b>Tabel 5.32</b>	Q Masuk pada Distilasi .....	VI-16
<b>Tabel 5.33</b>	Q Keluar pada Distilasi .....	VI-17
<b>Tabel 5.34</b>	Neraca Panas Total pada Fermentasi .....	VI-18
<b>Tabel 6.1</b>	Investasi Bahan Habis Pakai ( <i>Variable Cost</i> ) .....	VI-1
<b>Tabel 6.2</b>	Biaya Pendukung Utilitas .....	VI-1
<b>Tabel 6.3</b>	Biaya Pendukung Lain-lain .....	VI-2
<b>Tabel 6.4</b>	Investasi Alat .....	VI-2

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Struktur Etanol .....	II-1
<b>Gambar 2.2</b>	Amilosa .....	II-8
<b>Gambar 2.3</b>	Amilopektin .....	II-8
<b>Gambar 2.4</b>	Hidrolisis amilosa $\alpha$ -amilase .....	II-11
<b>Gambar 2.6</b>	Hidrolisis amilopektin $\alpha$ -amilase .....	II-11
<b>Gambar 3.1</b>	Rangkaian Alat Hidrolisa .....	III-2
<b>Gambar 3.2</b>	Rangkaian Alat Distilasi .....	III-2
<b>Gambar 4.1</b>	Perbandingan Kandungan Gula Reduksi setelah Proses Liquifikasi Selama 2 Jam .....	IV-2
<b>Gambar 4.2</b>	Perbandingan Yield setelah Proses Liquifikasi Selama 2 Jam .....	IV-3
<b>Gambar 4.3</b>	Perbandingan Kandungan Gula Reduksi setelah Proses Sakarifikasi Selama 4 Jam ....	IV-4
<b>Gambar 4.4</b>	Perbandingan Yield setelah Proses Sakarifikasi Selama 4 Jam .....	IV-6
<b>Gambar 4.5</b>	Perbandingan Kandungan Gula Reduksi dan Kadar Etanol terhadap Lama Waktu Fermentasi pada Konsentrasi .....	IV-7
<b>Gambar 6.1</b>	<i>Break Even Point (BEP)</i> .....	VI-6

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Jumlah pengguna alat transportasi semakin meningkat dengan meningkatnya jumlah penduduk. Indonesia dengan jumlah penduduk mencapai lebih dari 200 juta jiwa membutuhkan bahan bakar transportasi dalam bentuk premium dan solar dalam jumlah yang besar. Saat ini sumber utama bahan bakar transportasi berasal dari minyak bumi. Data BPS tahun 2005 menunjukkan bahwa produksi premium sekitar 62 juta barrel dan produksi solar sekitar 87 juta barrel. Produk tersebut belum termasuk penggunaan untuk kebutuhan lain, misal minyak pelumas, kerosen, avgas, serta bahan-bahan lain. Hal ini sangat mengkhawatirkan mengingat cadangan minyak bumi yang semakin menipis.

Dalam beberapa tahun belakangan ini penyediaan BBM dalam negeri tidak dapat seluruhnya dipenuhi oleh kilang minyak domestik, hampir 20% - 30% kebutuhan minyak bumi dalam negeri sudah harus diimpor dari luar negeri. Kebutuhan impor minyak bumi ini diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang terus meningkat dan pertumbuhan ekonomi di dalam negeri yang diharapkan semakin membaik ditahun-tahun mendatang.

Saat ini, mulai gencar produksi minyak berbahan baku produk pertanian atau bahan bakar nabati (BBN) yang dilakukan oleh berbagai negara. Perilaku ini merupakan respon yang cukup arif dalam menanggapi kemungkinan terburuk habisnya pasokan BBM berbahan fosil. Produksi *biofuel* seharusnya turut berperan dalam membangun ketahanan energi dari sebuah negara. *Biofuel* merupakan produk yang ramah lingkungan dan memiliki sifat mudah diperbaharui. Idealnya, bahan baku untuk pembuatan *biofuel* berasal dari sumber daya domestik karena akan berdampak positif terhadap terciptanya lapangan kerja baru dan tentunya menstimulasi peningkatan gairah ekonomi (*Tim Nasional*



---

*Pengembangan BBN untuk Percepatan Pengurangan Kemiskinan dan Pengangguran, 2007).*

Bioetanol merupakan bahan bakar yang sangat mudah terbakar dengan sempurna. Hasil pembakaran bioetanol ini berupa karbondioksida, air dan kalor. Dimana jumlah karbondioksida yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan bahan bakar fosil dari minyak bumi yang biasa digunakan. Karbondioksida sendiri merupakan gas rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global, jika karbondioksida dikurangi atau direduksi melalui penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar, hal ini bisa mengurangi pencemaran gas karbondioksida yang ada di atmosfer yang berdampak menurunnya pemanasan global. Emisi gas NO<sub>x</sub> yang dihasilkan selama pembakaran juga lebih rendah. Bioetanol memiliki sifat-sifat yang mirip terhadap petroleum dan dapat digunakan sebagai substitusi atau sebagian substitusi untuk bahan bakar petroleum sebesar sampai 5% tanpa melalui modifikasi.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki keanekaragaman jenis rumput laut yang sangat tinggi, bahkan oleh para ahli rumput laut mengatakan perairan Indonesia sebagai lumbung rumput laut. Perkembangan kearah industrialisasi rumput laut, Indonesia masih jauh ketinggalan dengan negara lain seperti Jepang, Korea, Taiwan dan China. Di Indonesia sendiri, hasil produksi rumput laut masih sebatas industri makanan dan bahan baku komoditi ekspor. Dalam upaya pemanfaatan rumput laut sebagai bahan industri makanan, kosmetik, farmasi, kedokteran dan pertanian masih perlu belajar kepada negara-negara yang telah ahli dalam pengolahan rumput laut. Oleh karena itu, tindakan kedepan masih perlu penelitian pemanfaatan rumput laut yang berkesinambungan.

*Chaetomorpha* merupakan salah satu rumput laut yang sangat melimpah pada perairan Indonesia. *Chaetomorpha* termasuk dalam golongan alga hijau (*Chlorophyta*). Kandungan karbohidrat pada alga ini sebesar 42, 81% dan untuk kandungan patinya sebesar 16,71%. Dengan kandungan pati yang sebesar itu



maka *Chaetomorpha* dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioethanol. Di Indonesia sendiri alga ini masih sangat kurang dimanfaatkan oleh masyarakat. Biasanya oleh para nelayan alga ini hanya dianggap sebagai rumput laut yang tidak berguna. Namun, di dalam kehidupan laut, alga ini sangat bermanfaat bagi para ziota laut seperti zooplankton yang menjadikan *Chaetomorpha* sebagai rumah yang ideal bagi mereka. Oleh karena itu, pada tugas akhir ini kami ingin meneliti bagaimana *Chaetomorpha* ini dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioethanol.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan diatas rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh konsentrasi alga hijau (*Chaetomorpha*) terhadap pembentukan gula reduksi. Dan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi enzim terhadap pembentukan gula reduksi. Serta variasi konsentrasi glukosa untuk pembentukan bioetanol.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar pembahasan ini tidak menyimpang dari ketentuan yang digariskan maka diambil dan asumsi sebagai berikut:

- a. Bahan baku yang digunakan dalam pembuatan etanol ini adalah *Chaetomorpha*
- b. Proses Hidrolisa Hidrolisa menggunakan enzim  $\alpha$ -amilase dan enzim glukoamilase
- c. Mikoorganisme yang digunakan adalah *Sacharomyces Cerevisiae* dengan kondisi fermentasi pada suhu 30 °C dan pH 4-5.

## 1.4 Tujuan Inovasi Produk

Tujuan dari pembuatan bioetanol dari Alga hijau (*Chaetomorpha*) adalah sebagai berikut ;

1. Memanfaatkan potensi yang terkandung pada Alga Hijau (*Chaetomorpha*)





2. Mengetahui besarnya kadar etanol yang dihasilkan oleh Alga Hijau (*Chaetomorpha*) setelah proses fermentasi.

### 1.5 Manfaat Inovasi Produk

Manfaat bioetanol dari Alga hijau (*Chaetomorpha*) ini adalah,

1. Menghasilkan salah satu solusi pengembangan energi terbarukan bioetanol dari *Chaetomorpha*
2. Meningkatkan nilai ekonomis dari Alga hijau (*Chaetomorpha*) dengan menjadikannya sebagai bahan baku bioetanol

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Bioetanol**

Bioetanol ( $C_2H_5OH$ ) merupakan salah satu biofuel yang hadir sebagai bahan bakar alternatif yang lebih ramah lingkungan dan sifatnya yang terbarukan. Merupakan bahan bakar alternatif yang diolah dari tumbuhan yang memiliki keunggulan karena mampu menurunkan emisi  $CO_2$  hingga 18%, dibandingkan dengan emisi bahan bakar fosil seperti minyak tanah. Bioetanol dapat diproduksi dari berbagai bahan baku yang banyak terdapat di Indonesia, sehingga sangat potensial untuk diolah dan dikembangkan karena bahan bakunya sangat dikenal masyarakat. Tumbuhan yang potensial untuk menghasilkan bioetanol antara lain tanaman yang memiliki kadar karbohidrat tinggi, seperti tebu, nira, aren, sorgum, ubi kayu, jambu mete (limbah jambu mete), garut, batang pisang, ubi jalar, jagung, bonggol jagung, jerami, dan bagas (ampas tebu). Banyaknya variasi tumbuhan, menyebabkan pihak pengguna akan lebih leluasa memilih jenis yang sesuai dengan kondisi tanah yang ada. Sebagai contoh ubi kayu dapat tumbuh di tanah yang kurang subur, memiliki daya tahan yang tinggi terhadap penyakit dan dapat diatur waktu panennya, namun kadar patinya hanya 30 persen, lebih rendah dibandingkan dengan jagung (70 persen) dan tebu (55 persen) sehingga bioetanol yang dihasilkan jumlahnya pun lebih sedikit. Di sektor kehutanan bioetanol dapat diproduksi dari sagu, siwalan dan nipah serta kayu atau limbah kayu.

Produksi etanol Nasional pada tahun 2006 mencapai sekitar 200 juta liter. Kebutuhan etanol Nasional tersebut pada tahun 2007 diperkirakan mencapai 900 juta liter. Saat ini bioetanol diproduksi dari tetes tebu, singkong dan jagung. Alternatif lain bahan baku bioetanol yaitu biomassa berselulosa. Biomassa berselulosa merupakan sumber daya alam yang berlimpah dan murah serta memiliki potensi untuk produksi komersial industri etanol atau butanol. Selain dikonversi menjadi

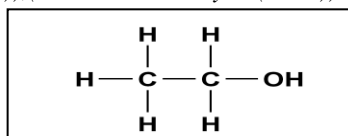


biofuel, biomassa berselulosa juga dapat mendukung produksi komersial industri kimia seperti asam organik, aseton atau gliserol.

Etanol dapat dipandang sebagai turunan dari etana ( $C_2H_6$ ) dengan salah satu atom H digantikan dengan gugus hidroksil. Gugus hidroksil akan membangkitkan polaritas pada molekul dan menimbulkan ikatan hidrogen antar molekul. Sifat-sifat kimia dan fisik etanol sangat tergantung pada gugus hidroksil. Studi spektrokopi inframerah menunjukkan bahwa dalam keadaan cair, ikatan- ikatan hidrogen terbentuk karena tarik menarik antara hidrogen-hidroksil satu molekul dengan oksigen-hidroksil dari molekul yang lain. Ikatan hidrogen mengakibatkan etanol cair sebagian besar terdimerisasi. Dalam keadaan uap, molekul-molekul etanol bertabiat monomerik.

Etanol atau etil alkohol ( $C_2H_5O$ ) adalah alkohol biasa dan merupakan alkohol terpenting. Pada suhu kamar etanol berupa zat cair bening, mudah menguap, dan berbau khas. Dalam kehidupan sehari-hari, alkohol dapat kita temukan dalam spiritus, dalam alkohol rumah tangga (alkohol 70% yang digunakan sebagai pembersih luka), dalam minuman beralkohol atau dalam air tape, dan lain-lain.

Pada tekanan  $> 0,114$  bar (11,5 kPa) etanol dan air dapat membentuk larutan azeotrop ( larutan yang mendidih seperti cairan murni : komposisi uap dan cairan sama). Pada keadaan atmosferik (1 atm) campuran ini terdiri dari etanol 95,57% (massa) atau 97,3% (volume) atau 89,43% (mol), dan air 4,43% (massa) atau 2,7% (volume) atau 10,57% (mol). Pada kondisi ini larutan mendidih pada temperature  $78,15^\circ C$  (Kosaric,dkk.(1993)),(Seader dan Kurtyka.(1984)).



**Gambar 2.1** Struktur Etanol



Kadar etanol yang dihasilkan dari fermentasi glukosa ini hanya berkisar 1% - 3% karena pada kadar yang lebih tinggi sel ragi tidak dapat hidup. Kadar etanol yang lebih tinggi dapat diperoleh melalui pemekatan dengan cara destilasi. Melalui destilasi dapat diperoleh alkohol sampai 95,5%. Alkohol yang lebih pekat dari itu tidak dapat diperoleh melalui destilasi karena campuran yang mengandung 95,5% alkohol dengan 4,5% air mempunyai titik didih yang tetap (campuran azeotrop)

Bentuk etanol berupa cairan yang tidak berwarna dan memiliki bau khas. Kegunaan etanol antara lain :

1. Sebagai bahan baku pembuatan senyawa lain, seperti asam asetat.
2. Perawatan kimia (kosmetik, farmasi, dan lain-lain).
3. Sebagai pelarut organik.
4. Sebagai konsumsi minuman beralkohol.

## 2.1.1 Sifat-sifat Fisika dan Kimia Etanol

### 2.1.1.1 Sifat-Sifat Fisika Etanol

**Tabel 2.1** Sifat-Sifat Fisika Etanol

Berat molekul	46,068 gr/mol
Titik lebur	-112 °C
Titik didih	78,4 °C
Densitas	0,7893 gr/ml
Indeks bias	1,36143
Panas penguapan	200,6 kal/gr
Viskositas	1,17 Cp pada 20° C
Merupakan cairan tidak berwarna	
Dapat larut dalam air dan eter	




---



---

Memiliki bau yang khas

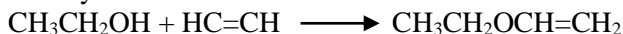
---

(Perry,1999)

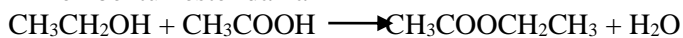
**2.1.1.2 Sifat-Sifat Kimia Etanol**

Etanol selain memiliki sifat-sifat fisika juga memiliki sifat-sifat kimia. Sifat-sifat kimia tersebut adalah :

1. Merupakan pelarut yang baik untuk senyawa organik
2. Mudah menguap dan mudah terbakar
3. Bila direaksikan dengan asam halida akan membentuk alkyl halida dan air



4. Bila direaksikan dengan asam karboksilat akan membentuk ester dan air



5. Dehidrogenasi etanol menghasilkan asetaldehid
6. Mudah terbakar diudara sehingga menghasilkan lidah api (flame) yang berwarna biru muda dan transparan, dan membentuk  $\text{H}_2\text{O}$  dan  $\text{CO}_2$ .

Dalam proses pembuatan etanol, ada beberapa bahan baku yang digunakan, yaitu : air, glukosa. Bahan baku tersebut memiliki beberapa sifat yang dapat dilihat pada **Tabel 2.2**

**Tabel 2.2** Sifat-Sifat Bahan Baku

Rumus kimia	$\text{H}_2\text{O}$	Glukosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )
Berat molekul	18,016 gr/mol	180,16 gr/mol
Densitas	0,9995 gr/cm <sup>3</sup>	-
Titik lebur	0 °C	146 °C
Titik didih	100 °C	-
Specific gravity	-	1,554 <sup>25</sup>

(Perry,1999)



---

## 2.2 Alga hijau (*Chaetomorpha*)

Indonesia dengan pantai terpanjang di dunia memiliki potensi yang sangat besar dalam memproduksi rumput laut. Pemanfaatan rumput laut sebagai sumber bioenergi akan sangat penting dalam masa depan termasuk di Indonesia, karena penggunaan bioetanol (E100) sebagai sumber energi dalam transportasi, industri, dan komersial secara bertahap direncanakan 15% untuk kebutuhan energi nasional di Januari 2025 (*Ditjen Minyak dan Gas Bumi Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral, 2010*).

*Chaetomorpha* merupakan jenis ganggang hijau. Berbentuk filament bercabang, terdiri dari sel besar diatur dalam baris satu ujung ke ujung. Filament biasanya yang kaku atau kasar, tidak roboh ketika dikeluarkan dari air. Filamen individu dapat lurus, melingkar atau memutar dan seluruh tanaman dapat berupa rumpun filamen lurus, seperti rumpun rumput, atau tikar kusut.

Taksonomi *Chaetomorpha*,

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Chlorophyta
Kelas	: Chlorophyceaea
Ordo	: Chaetophorales
Famili	: Chaetophoraceae
Genus	: <i>Chaetomorpha</i>
Spesies	: <i>Chaetomorpha</i> sp.

*Chaetomorpha* memiliki thallus yang tidak bercabang, tidak membentuk koloni, warna hijau muda sampai hijau tua, thallus bersegmen. Berbentuk lurus menyerupai ramut hijau atau kekuning-kuningan, kadang-kadang putih menuju ujung-ujung filamen jika spora atau gamet telah dibebaskan, filamen bercang biasanya antara 5-30 cm, dan sering tumbuh dalam kelompok yang terdiri ratusan atau ribuan orang di daerah berpasir di pasang batu. Salah satu manfaat tambahan *Chaetomorpha* bahwa ia menyediakan rumah yang ideal untuk berbagai zooplankton atau sangat kecil seperti udang.



---

### 2.3 Pati

Karbohidrat banyak terdapat dalam bahan nabati, baik berupa gula sederhana, heksosa, pentose, maupun karbohidrat dengan berat molekul yang tinggi seperti pati, pektin, selulosa, dan lignin. Pada umumnya buah-buahan mengandung monosakarida seperti glukosa dan fruktosa. Disakarida seperti gula tebu (sukrosa atau sakarosa) banyak terkandung dalam batang tebu, di dalam air susu terdapat laktosa atau gula susu. Beberapa oligosakarida seperti dekstrin terdapat dalam sirup pati, roti, dan bir. Sedangkan berbagai polisakarida seperti pati, banyak terdapat dalam sereal dan umbi-umbian. Selama proses pematangan, kandungan pati dalam buah-buahan berubah menjadi gula-gula pereduksi yang akan menimbulkan rasa manis (Winarno, 1991).

Gula pereduksi merupakan golongan gula (karbohidrat) yang dapat mereduksi senyawa-senyawa penerima elektron, contohnya adalah glukosa dan fruktosa. Ujung dari suatu gula pereduksi adalah ujung yang mengandung gugus aldehida atau keton bebas. Semua monosakarida (glukosa, fruktosa, galaktosa), termasuk sebagai gula pereduksi. Umumnya gula pereduksi yang dihasilkan berhubungan erat dengan aktifitas enzim, dimana semakin tinggi aktifitas enzim maka semakin tinggi pula gula pereduksi yang dihasilkan.

Gula reduksi adalah gula yang memiliki gugus aldehid (aldosa) atau keton (ketosa) bebas. Aldosa mudah teroksidasi menjadi asam aldolat, sedangkan ketosa hanya dapat bereaksi dalam suasana basa. Secara umum, reaksi tersebut digunakan dalam penentuan gula secara kuantitatif. Penggunaan larutan Fehling merupakan metode pertama dalam penentuan gula secara kuantitatif. Larutan Fehling merupakan larutan alkalin yang mengandung tembaga (II) yang mengoksidasi aldosa menjadi aldolat dan dalam prosesnya akan tereduksi menjadi tembaga (I), yaitu  $\text{Cu}_2\text{O}$  yang berwarna merah bata dan mengendap. Maltosa dan laktosa adalah contoh gula reduksi.

Reaksi antara gugus karbonil gula pereduksi dengan





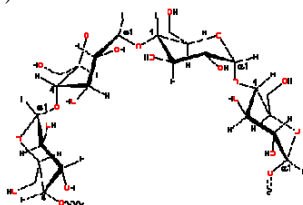
gugus amino protein disebut reaksi maillard yang menghasilkan warna coklat pada bahan, yang dikehendaki atau malah menjadi pertanda penurunan mutu. Warna coklat pada penggorengan ubi jalar dan singkong, serta pencoklatan pencoklatan yang indah dari berbagai roti adalah warna yang dikehendaki. Dengan kata lain, dalam kimia pangan gula reduksi berkontribusi membentuk warna coklat apabila berikatan dengan asam amino.

Gula reduksi adalah gula yang mempunyai kemampuan untuk mereduksi. Hal ini dikarenakan adanya gugus aldehid atau keton bebas. Senyawa-senyawa yang mengoksidasi atau bersifat reduktor adalah logam-logam oksidator seperti Cu (II). Contoh gula yang termasuk gula reduksi adalah glukosa, manosa, fruktosa, laktosa, maltosa, dan lain-lain. Sedangkan yang termasuk dalam gula non reduksi adalah sukrosa. Salah satu contoh dari gula reduksi adalah galaktosa. Galaktosa merupakan gula yang tidak ditemui di alam bebas, tetapi merupakan hasil hidrolisis dari gula susu (laktosa) melalui proses metabolisme akan diolah menjadi glukosa yang dapat memasuki siklus kreb's untuk diproses menjadi energi. Galaktosa merupakan komponen dari Cerebrosida, yaitu turunan lemak yang ditemukan pada otak dan jaringan saraf.

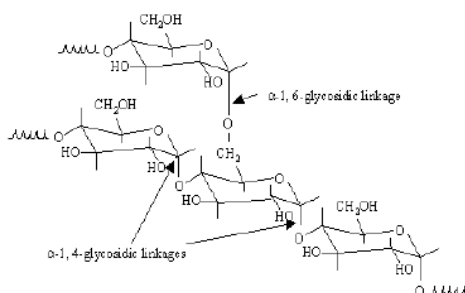
Pati adalah karbohidrat penyimpan energi pada tanaman. Pati tersusun dari unit-unit glukosa yang dihubungkan oleh ikatan 1,4- $\alpha$ -glikosida, walaupun rantai ini dapat pula mempunyai percabangan karena adanya ikatan 1,6- $\alpha$ -glikosida. Hidrolisis parsial pada pati menghasilkan maltosa, dan hidrolisis selengkapnya akan memberikan D-glukosa. Pati dapat dipisahkan dengan macam-macam pelarut dan teknik pengendapan menjadi dua bagian, yaitu amilosa dan amilopektin. Pada amilosa, yang menyusun 20% pati, unit-unit glukosa (50-300) membentuk rantai lurus yang berikatan menurut 1,4- $\alpha$ -glikosida. Dalam larutan, rantai ini berbentuk heliks (spiral) karena adanya ikatan dengan konfigurasi  $\alpha$  pada setiap unit glukosa. Bentuk tabung ini dengan enam unit glukosa perputaran heliks menyebabkan amilosa membentuk kompleks dengan bermacam-macam molekul kecil



yang dapat masuk ke dalam kumpurannya. Warna biru tua yang diberikan pada penambahan iod pada pati adalah contoh pembentukan kompleks tersebut. Amilopektin mempunyai cabang banyak. Sekalipun setiap molekul dapat mempunyai 300-500 unit glukosa, rantai dengan ikatan 1,4 hanya terdapat rata-rata sepanjang 25-30 unit glukosa. Rantai-rantai demikian mempunyai percabangan melalui ikatan 1,6. Karena strukturnya yang banyak bercabang, butir pati mengembang dan membentuk larutan koloid dalam air (Suminar, 1983)



Gambar 2.2 Amilosa



Gambar 2.3 Amilopektin

## 2.4 Hidrolisa

Hidrolisis adalah proses pemecahan senyawa kompleks menjadi senyawa sederhana dengan bantuan air. Proses hidrolisis pati dengan asam ditemukan pertama kali oleh Kirchoff pada tahun 1812, namun produksi secara komersial baru terlaksana pada tahun 1850. Pada proses hidrolisis sejumlah pati diasamkan sekitar pH 2 dipanasi memakai uap di dalam suatu tangki bertekanan yang disebut konverter sampai suhu 120-140°C.



Derajat konversi yang diperoleh bergantung pada konsentrasi asam, waktu konversi, suhu dan tekanan selama reaksi. Karena hasil hidrolisis onggok berupa gula pereduksi, maka pengukuran kandungan gula pereduksi tersebut dapat dijadikan alat pengontrol kualitas. Pada hidrolisis yang sempurna, dimana pati seluruhnya dikonversikan menjadi dekstrosa. Dekstrosa Ekuivalen (DE) dari larutan tersebut diberi indeks 100, dan pati yang sama sekali belum terhidrolisis memiliki DE 0.

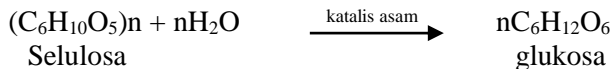
### **2.4.1 Hidrolisa Asam**

Hidrolisis dengan menggunakan asam menghasilkan pati yang strukturnya lebih renggang, sehingga air lebih mudah menguap pada waktu pengeringan. Struktur pati yang agak rapat akan lebih tinggi daya ikat airnya dan terjadi pemutusan ikatan hidrogen pada rantai linier, serta berkurangnya daerah amorf yang mudah. Suspense pati dalam air dipanaskan dalam suhu gelatinasi air akan dimasuki air. Suhu awal gelatinasi adalah saat terjadinya pembekuan granula pati sewaktu suhu dinaikkan. Suspensi pati dapat dihidrolisis dengan penambahan asam encer. Selama pemanasan granula pati akan mengembang dan akan terjadi penekanan antar granula, sehingga viskositas pati akan naik. Hidrolisis dihentikan setelah dicapai kekentalan yang diinginkan. Pati yang termodifikasi asam dibuat dengan mengontrol hidrolisis pati dengan asam dalam suatu suspensi. Konversi berlangsung pada suhu 500 C di bawah suhu gelatinasi pati dan prinsipnya adalah memotong ikatan -1,4-glukosida, dan -1,6-glukosida dari amilopektin sehingga ukuran pati menjadi lebih kecil.

Hidrolisa dalam suasana asam menghasilkan pemecahan ikatan glikosida dan berlangsung dalam tiga tahap. Tahap pertama proton yang berkelakuan sebagai katalisator asam berinteraksi cepat dengan oksigen glikosida yang menghubungkan dua unit gula (I), yang akan membentuk asam konjugat (II). Langkah ini akan diikuti dengan pemecahan yang lambat dari ikatan C-O, dalam kebanyakan hal menghasilkan zat antara kation karbonium siklis (III). Protonasi dapat juga terjadi pada oksigen cincin (II'),



menghasilkan pembukaan cincin dan kation karbonium non siklis (III'). Mekanisme reaksi total hidrolisa selulosa secara asam ditampilkan dibawah ini :



### 2.4.2 Hidrolisa Enzim

Enzim adalah biokatalisator yang merupakan molekul biopolimer dan tersusun dari serangkaian asam amino dalam komposisi dan susunan rantai yang teratur dan tetap. Enzim memiliki peranan yang sangat penting dalam berbagai reaksi kimia yang terjadi di dalam sel yang mungkin sangat sulit dilakukan oleh reaksi kimia biasa. Enzim merupakan protein yang berfungsi sebagai biokatalis dalam sel hidup. Kelebihan enzim dibandingkan katalis biasa adalah (1) dapat meningkatkan produk lebih tinggi; (2) bekerja pada pH yang relatif netral dan suhu yang relative rendah; dan (3) bersifat spesifik dan selektif terhadap substrat tertentu. Enzim telah banyak digunakan dalam bidang industri pangan, farmasi dan industri kimia lainnya. Enzim dapat diisolasi dari hewan, tumbuhan dan mikroorganisme.

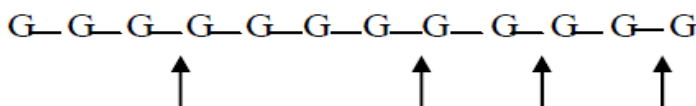
Amilase bekerja pada pati, glikogen dan turunan polisakarida dengan menghidrolisa ikatan  $\alpha$ -1,4- dan atau  $\alpha$ -1,6-glikosidik. Enzim amylase dapat diisolasi dari jaringan tanaman, hewan, dan sel mikroba. Amylase dikelompokkan menjadi 3 golongan enzim, yaitu :

1.  **$\alpha$ -amilase** yang memecah pati secara acak dari tengah dan bagian dalam molekul, karena itu disebut **endoamilase**
2.  **$\beta$ -amilase** yang menghidrolisa unit-unit glukosa dari ujung molekul pati, karena itu disebut **eksoamilase**
3. **Glukoamilase** yang dapat memisahkan glukosa dari terminal gula non-produksi substrat pati

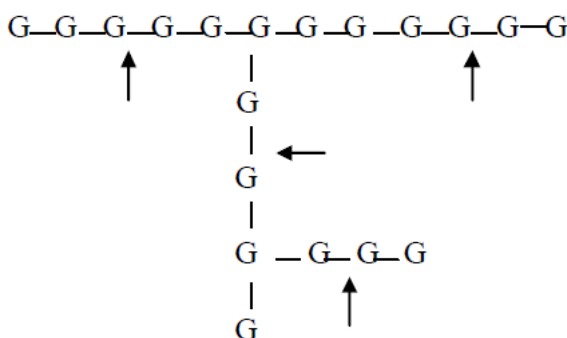
Pemecahan oleh  $\alpha$ -amilase terhadap amilopektin akan menghasilkan dekstrin berat molekul rendah dan maltose dan oligosakarida yang lebih besar. Setiap molekul  $\alpha$ -amilase



mengandung satu ion  $\text{Ca}^{2+}$  yang perannya tidak langsung untuk pembentukan enzim substrat, tetapi mendukung molekul enzim membentuk keadaan optimum guna aktivitas dan stabilitasnya. Glukoamilase dapat memecah ikatan  $\alpha$ -1,3 dan  $\alpha$ -1,4 dengan pengaruh enzim glukoamilase posisi glukosa  $\alpha$  dapat diubah menjadi  $\beta$ , pH optimum 4-5 suhu  $50\text{-}60^\circ\text{C}$  ( *Biokimia dan Enzimologi Universitas Brawijaya*, 2008).



**Gambar 2.4** Hidrolisis amilosa  $\alpha$ -amilase



**Gambar 2.5** Hidrolisis amilopektin oleh  $\alpha$ -amilase

Keterangan :

↑ = Tempat hidrolisis

G = Glukosa

Cara kerja  $\alpha$ -amilase terjadi melalui dua tahap yaitu pertama degradasi amilosa menjadi maltosa dan maltotriosa yang terjadi secara acak. Degradasi ini terjadi sangat cepat dan diikuti dengan menurunnya viskositas dengan cepat. Tahap kedua relatif lambat yaitu pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir secara tidak acak. Keduanya merupakan kerja enzim  $\alpha$ -



amilase pada molekul amilosa saja. Kerja  $\alpha$ -amilase pada molekul amilopektin akan menghasilkan glukosa, maltosa dan berbagai jenis limit dekstrin yaitu oligosakarida yang terdiri dari empat atau lebih residu gula yang semuanya mengandung  $\alpha$ -1,6-glikosidik.

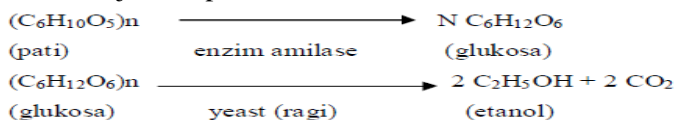
Hidrolisa selulosa secara enzimatik memberi yield etanol sedikit lebih tinggi dibandingkan metode hidrolisa asam. Namun proses enzimatik tersebut merupakan proses yang paling mahal (Orchidea, 2010).

## 2.5 Fermentasi

Dalam fermentasi etanol bahan sakarin seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa dimetabolisme oleh strain ragi melalui jalur glikolisis untuk menghasilkan etanol dan karbondioksida pada kondisi anaerob. Dalam reaksi ini dua molekul ATP dihasilkan dari satu molekul glukosa dan digunakan sebagai energy untuk pertumbuhan sel-sel ragi. Etanol menjadi tersedia di bidang industri kimia, minuman, dan industri makanan, penggunaan medis, serta bahan bakar, sejak kemajuan besar dicapai dengan teknologi fermentasi dan distilasi pada abad ke 19-20-an.

Fermentasi etanol adalah reaksi biologis pada suhu kamar dan pada tekanan atmosfer. *Saccharomyces cerevisiae* adalah ragi yang banyak digunakan untuk industri dan produksi bahan bakar etanol, dan memiliki kemampuan yang asngatbai dalam fermentasi etanol dan toleransi terhadap etanol. Oleh karena itu, fermentasi etanol adalah proses biologis yang sangat baik untu mengonversi biomassa menjadi bahan bakar etanol. *Saccharomyces cerevisiae* dapat memfermentasi gula termasuk glukosa, fruktosa, galaktosa, manosa, sukrosa, maltose, kecuali pentosa seperti xilosa dan arabinosa.

Reaksi yang terjadi pada proses produksi etanol secara sederhana ditunjukkan pada reaksi :





Pada proses ini, glukosa difermentasikan dengan menggunakan enzim zimase dan invertase yang dihasilkan oleh *S.cerevisiae*. Fungsi enzim zimase adalah untuk memecah polisakarida (pati) yang masih terdapat dalam proses hidrolisis untuk diubah menjadi monosakarida (glukosa). Selanjutnya enzim invertase mengubah monosakarida menjadi alkohol dengan proses fermentasi. Pada awal fermentasi masih diperlukan oksigen untuk pertumbuhan dan perkembangan *S.cerevisiae* kemudian tidak dibutuhkan lagi karena kondisi proses yang diperlukan adalah anaerob (*The Japan Institute of Energy*, 2008).



## **BAB III**

### **METODOLOGI PEMBUATAN PRODUK**

#### **3.1 Tahap Pelaksanaan**

1. Persiapan
2. Hidrolisa enzim
3. Fermentasi
4. Distilasi

#### **3.2 Bahan yang Digunakan**

Bahan yang digunakan pembuatan bioetanol dari Alga merah (*Euchema cottoni*) sebagai berikut :

- Bahan baku :
  1. Alga hijau (*Chaetomorpha*) yang didapatkan dari daerah kabupaten Sumenep, Madura
- Bahan kimia :
  1. HCl yang dibeli dari toko kimia di daerah Surabaya dengan harga Rp12.000/liter
  2. NaOH didapatkan dari laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kimia D3 Teknik Kimia
  3. NPK yang dibeli dari toko di daerah Surabaya dengan harga Rp2.000/kg
  4. Urea yang dibeli dari toko di daerah Surabaya dengan harga Rp2.000/kg
  5. Fehling A dan Fehling B didapatkan dari laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kimia D3 Teknik Kimia
  6. *Methylene blue* didapatkan dari laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kimia D3 Teknik Kimia
  7. Aquadest didapatkan dari laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kimia D3 Teknik Kimia
- Enzim :



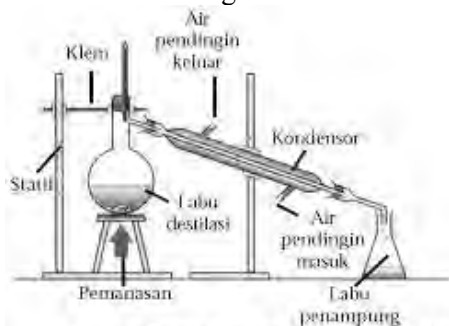
1. Enzim  $\alpha$ -amilase didapatkan dari laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kimia D3 Teknik Kimia
2. Enzim glukamilase didapatkan dari laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kimia D3 Teknik Kimia

### 3.3 Peralatan yang Digunakan

Peralatan yang digunakan pembuatan bioetanol dari Alga merah (*Euchema cottoni*) sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Rangkaian Alat Hidrolisa



Sumber: Basic Concept of Chemistry, 2002

**Gambar 3.2** Rangkaian Alat Distilasi



Alat penunjang pembuatan Bioetanol dari Alga hijau (*Chaetomorpha*) adalah,

1. Blender
2. Cawan
3. Corong
4. Labu ukur
5. Timbangan elektrik
6. pH meter
7. Pipet tetes
8. Gelas ukur
9. Spatula
10. Oven

### 3.4 Variabel yang Digunakan

Variabel yang digunakan pembuatan bioetanol dari Alga hijau (*Chaetomorpha*) sebagai berikut:

1. Konsentrasi Alga hijau (*Chaetomorpha*) 10% (w/v), 30% (w/v), 40% (w/v)
2. Jumlah Enzim  $\alpha$ -amilase dan glukamilase 2% (w/v) dan 5% (w/v)

### 3.5 Prosedur Pembuatan

Prosedur pembuatan bioetanol dari Alga hijau (*Chaetomorpha*) sebagai berikut:

#### 3.5.1 Tahap Persiapan

Alga hijau (*Chaetomorpha*) dibersihkan dengan mencucinya hingga bersih dari kotoran. Mengoven alga yang telah bersih selama 24 jam dengan suhu 60°C. Kemudian menghaluskan Alga hijau (*Chaetomorpha*) kering dengan blender hingga menjadi tepung.

#### 3.5.2 Tahap Proses Pembuatan Produk

##### 3.5.2.1 Tahap Proses Liquefikasi

Menimbang 10% (w/v) tepung alga, kemudian memasukkannya ke dalam *beaker glass* 2000 ml, menambahkann



$\text{CaCl}_2$  40 ppm. Mengukur pH dengan pH meter. Setelah itu, menambahkan HCl untuk mengkondisikan pH *slurry* 6,5-6,6. Menambahkan enzim  $\alpha$ -amilase 2% (w/v). Dan memanaskannya selama 2 jam pada suhu 90°C-100°C. Melakukan prosedur yang sama pada variabel yang berbeda.

### 3.5.2.2 Tahap Proses Sakarifikasi

Setelah melalui proses liquifikasi, *slurry* didinginkan hingga suhu 60°C. Kemudian mengaduk dan menambahkan HCl agar pH menjadi 4. Kemudian, menambahkan enzim glukamilase 2% (w/v). Dan memanaskannya kembali dalam suhu 60°C selama 4 jam. Melakukan prosedur yang sama pada variabel yang berbeda.

### 3.5.2.3 Tahap Fermentasi

Setelah melalui tahap sakarifikasi, tambahkan 0,5% (dari kadar glukosa) *Yeast*, 0,2% (dari kadar glukosa) Urea dan 0,2% (dari kadar glukosa) NPK. Setelah itu, Alga hijau (*Chaetomorpha*) yang telah dicampur dengan *Yeast*, urea dan NPK diinkubasi selama 72 jam. Melakukan prosedur yang sama pada variabel yang berbeda.

### 3.5.2.4 Tahap Distilasi

Menyaring hasil fermentasi agar tidak tercampur dengan pengotor. Mendistilasi filtrat dengan suhu 78°C. Kemudian, menganalisa kadar etanolnya. Melakukan prosedur yang sama pada variabel yang berbeda.

## 3.5.3 Prosedur Analisa

### 3.5.3.1 Analisa Kadar Air

Menimbang Alga hijau (*Chaetomorpha*) sebanyak 10 gram. Mencucinya hingga bersih kemudian mengoven Alga hijau (*Chaetomorpha*) selama 24 jam pada suhu 55°C. Menghitung kadar airnya.



$$\text{Kadar air} = \frac{(W_1 - W_0) - (W_2 - W_0)}{(W_1 - W_0)} \times 100\%$$

Dimana:  $w_0$  = berat cawan kosong  
 $w_1$  = berat cawan + sampel  
 $w_2$  = berat cawan + sampel yang telah dikeringkan

### 3.5.3.2 Analisa Kadar Gula Tereduksi

Menyiapkan larutan fehling A dan fehling B masing-masing sebanyak 10 ml. Menyiapkan indikator *methylen blue* dengan konsentrasi 10%. Menyiapkan larutan gula yang akan dianalisa dalam biuret. Memasukkan larutan fehling A dan fehling B sebanyak 10 ml ke dalam erlenmeyer, kemudian menambahkan larutan indikator *methylen blue* sebanyak 4 tetes. Menitrasi larutan yang ada pada biuret dan mengukur volume larutan yang dipakai untuk titrasi.

Perhitungan gula tereduksi:

$$\text{Kadar Gula Tereduksi} = \frac{A}{B} \times 100 \text{ gr/l}$$

Dimana  $A$  = volume titrasi  
 $B$  = volume sample yang ada pada biuret

### 3.5.3.3 Analisa Kadar Pati

Menimbang 2-5 gram Alga Alga hijau (*Chaetomorpha*) yang telah dihaluskan. Menambahkan 50 ml aquades dan mengaduk selama 1 jam. Kemudian menyaring suspensi dengan kertas saring dan mencucinya dengan aquades hingga volume filtrat 250 ml. Mencuci residu pada kertas saring sebanyak 5 kali dengan 10 ml eter kemudian biarkan eter menguap dari residu. Mencuci lagi dengan 150 ml alkohol 10% untuk membebaskan lebih lanjut karbohidrat yang terlarut. Tahap berikutnya memindahkan residu ke dalam erlenmeyer dengan pencucian 200 ml aquades dan menambahkan 20 ml HCl 25%. Memanaskan filtrat tersebut dengan *waterbath* selama 2,5 jam dengan keadaan



erlenmeyer tertutup. Mendinginkan filtrat dan menetralkan larutan dengan NaOH 45% dan encerkan sampai volume 450 ml kemudian menyaringnya. Menentukan kadar gula yang dinyatakan sebagai glukosa dari filtrat yang diperoleh. Penentuan glukosa seperti gula reduksi. Berat glukosa dikalikan 0,9 merupakan berat pati.

$$\text{Berat pati} = \text{Berat glukosa} \times 0,9$$

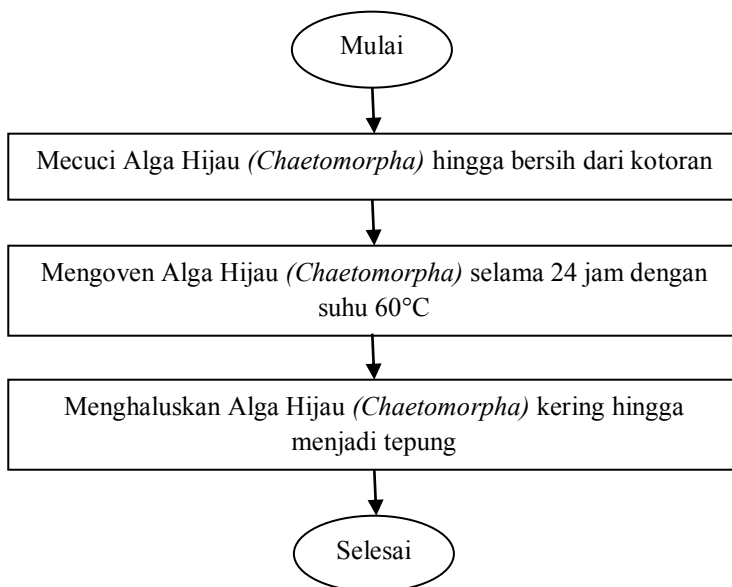
### 3.5.4 Tempat Pelaksanaan

Penelitian tugas akhir dengan judul “Pembuatan Bioetanol dari Alga hijau (*Chaetomorpha*) dengan Proses Hidrolisa Enzim dan Fermentasi” kami laksanakan di Laboratorium Teknologi Pengolahan Limbah Industri Kimia D3 Teknik Kimia FTI-ITS.



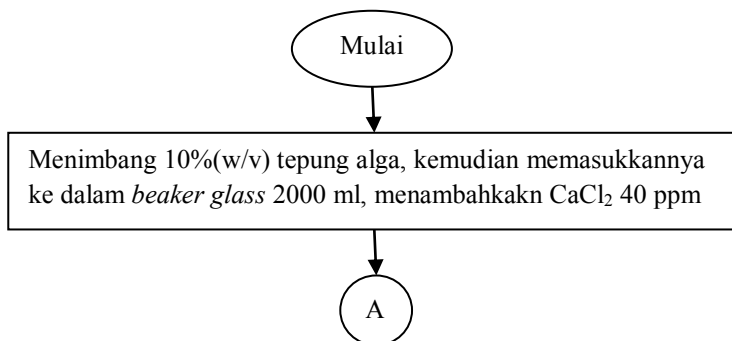
### 3.6 Diagram Alir Pelaksanaan Inovasi

#### 3.6.1 Tahap Persiapan

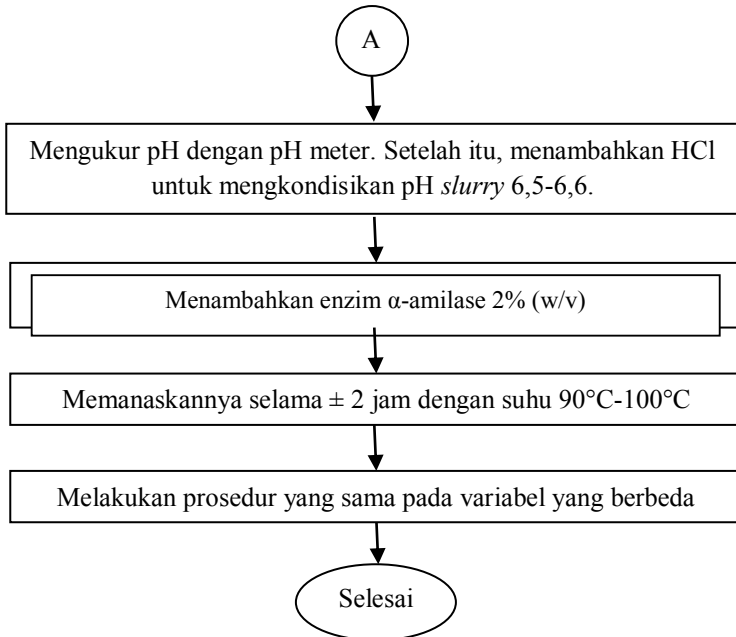


#### 3.6.2 Tahap Proses Pembuatan Produk

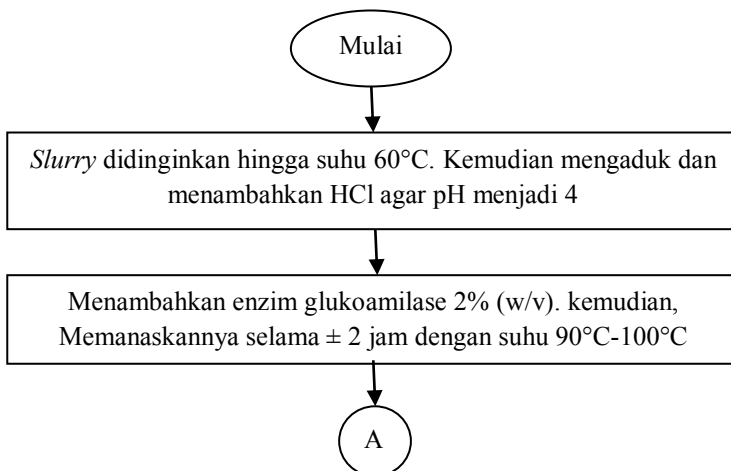
##### 3.6.2.1 Tahap Proses Liquifikasi

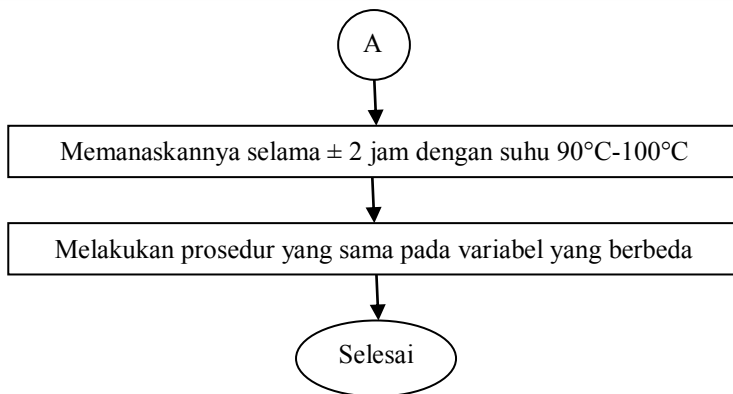




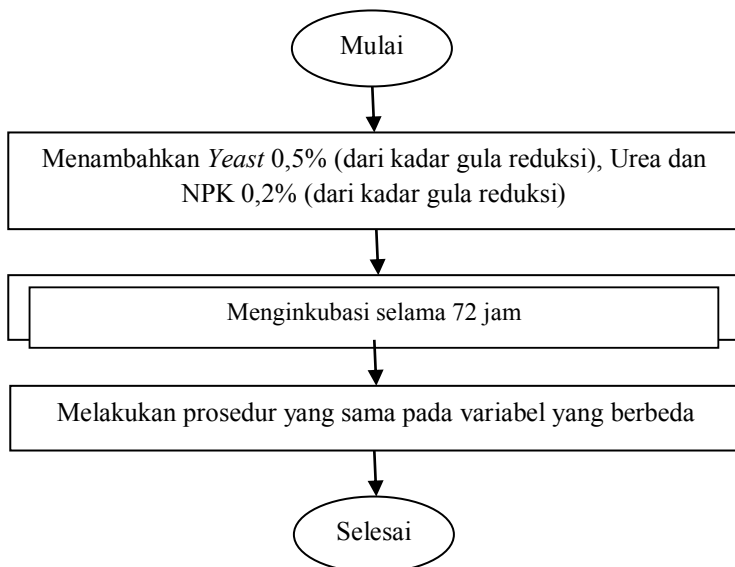


### 3.6.2.2 Tahap Proses Sakarifikasi



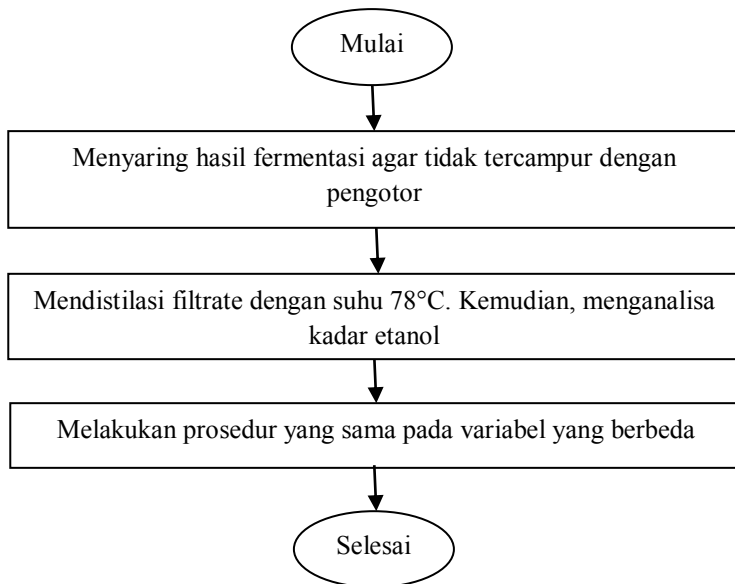


### 3.6.2.3 Tahap Fermentasi



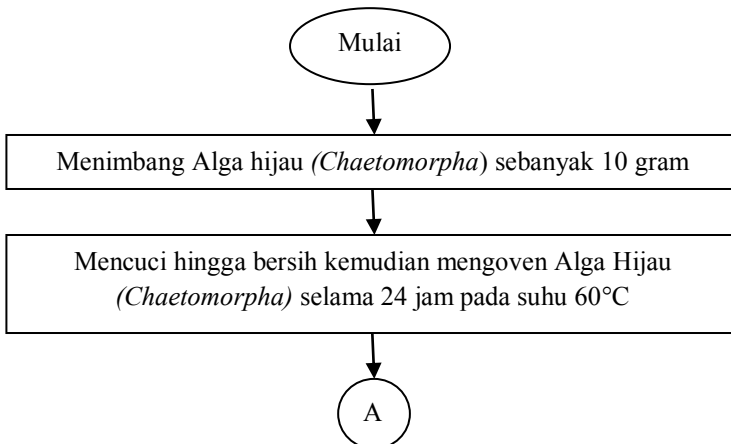


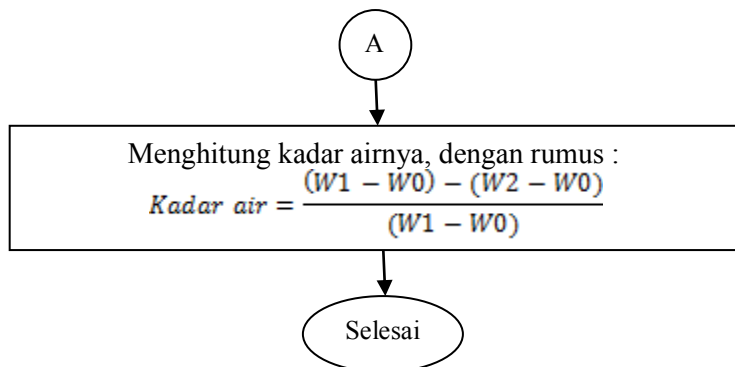
### 3.6.2.4 Tahap Distilasi



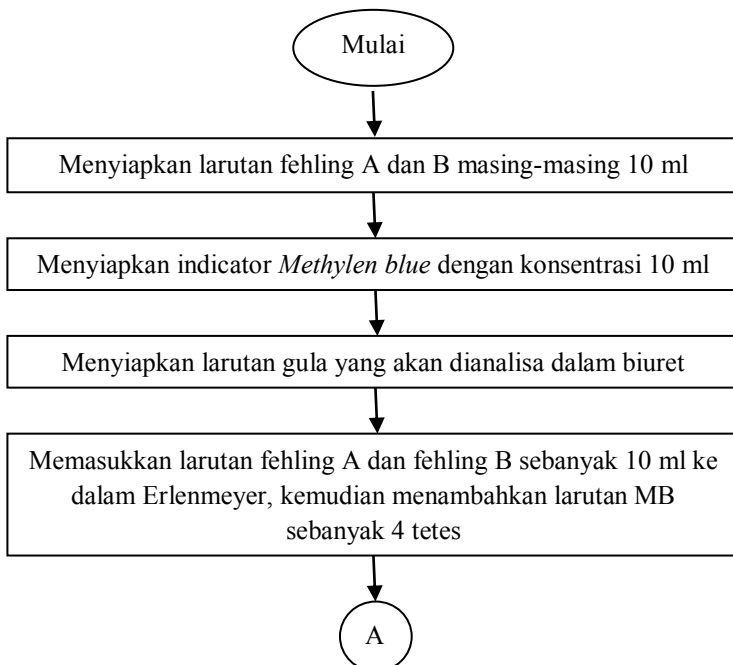
### 3.6.3 Prosedur Analisa

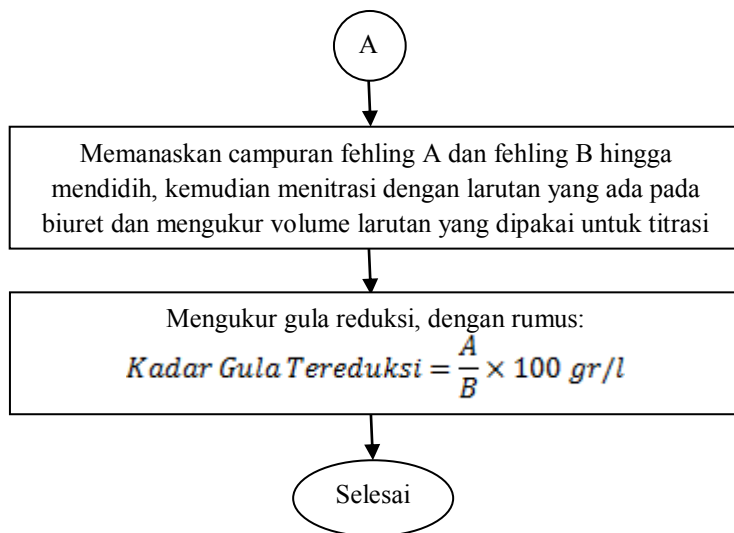
#### 3.6.3.1 Analisa Kadar Air





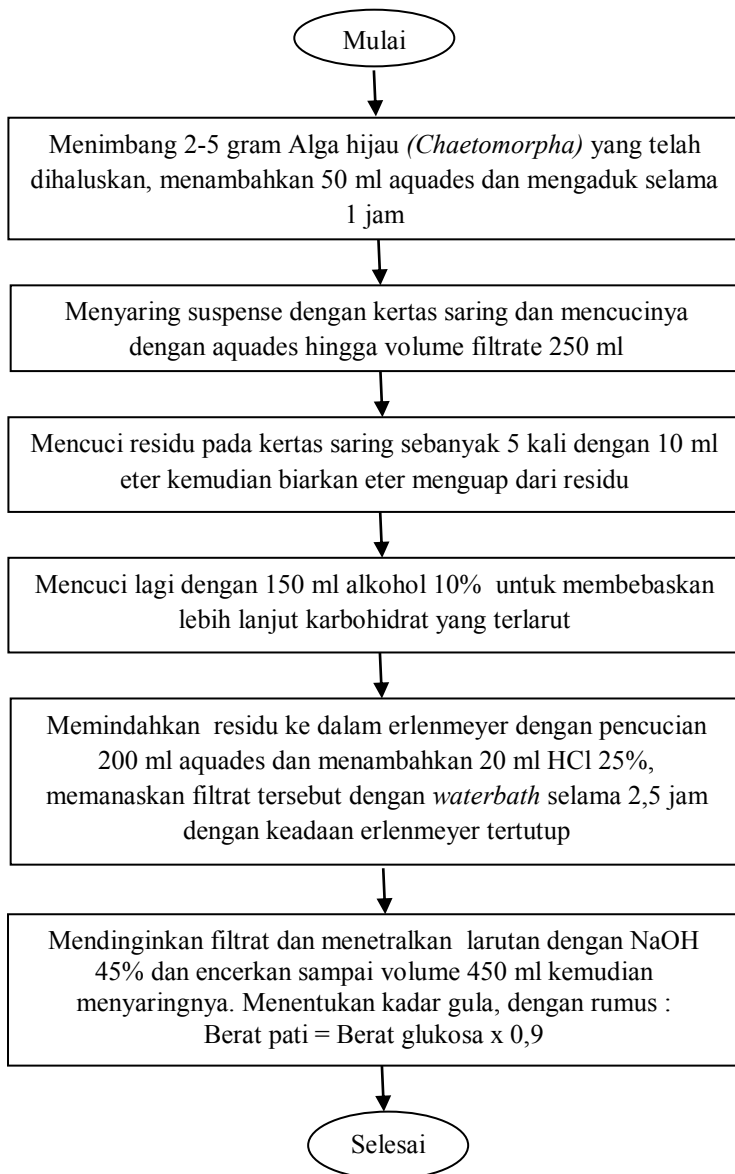
### 3.6.3.2 Analisa Kadar Gula Tereduksi







### 3.6.3.3 Analisa Kadar Pati

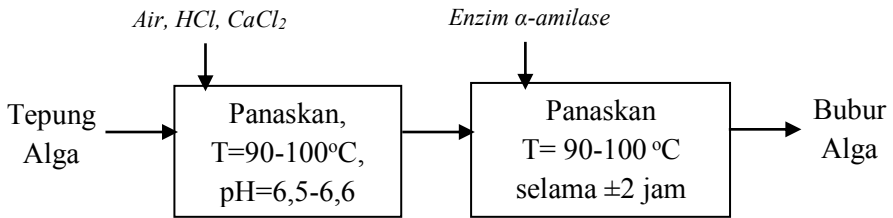




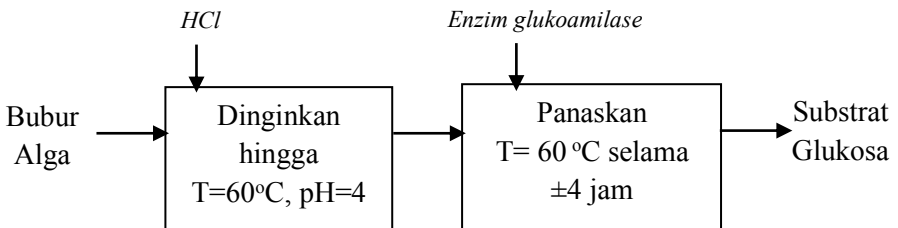
### 3.7 Diagram Blok Proses Pembuatan

#### 3.7.1 Proses Hidrolisa Enzim

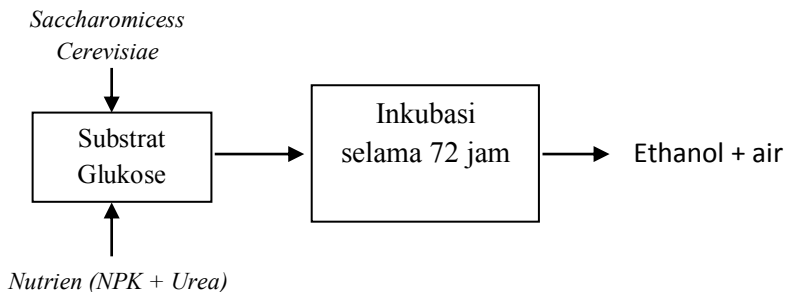
##### 3.7.1.1 Proses Liquifikasi



##### 3.7.1.2 Proses Sakarifikasi



##### 3.7.1.3 Proses Fermentasi



## **BAB IV**

### **HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Hasil Analisa Kandungan Pati**

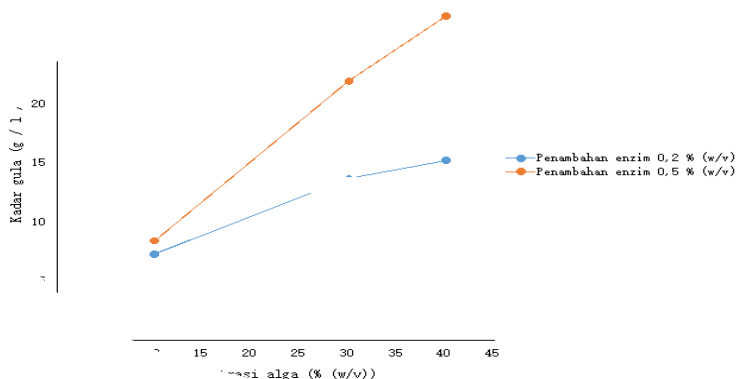
Menurut hasil analisa yang dilakukan oleh BARISTAN untuk sampel alga *Chaetomorpha* memiliki kandungan pati sebesar 16,71 %. Analisa pati dilakukan dengan menggunakan metode titrimetri dengan sampel yang digunakan sebanyak 150 gram berat kering.

Dari data hasil analisa diatas alga *chaetomorpha* ini dapat digunakan sebagai sumber bioethanol karena kandungan pati yang terkandung dalam bahan tersebut cukup tinggi. Pati merupakan polimer yang tersusun dari monomer gula sederhana yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioethanol.

#### **4.2 Hasil Analisa Kandungan Gula Reduksi setelah Proses Liquifikasi**

Proses Liquifikasi dengan bantuan enzim  $\alpha$ -amilase bertujuan untuk menghidrolisis pati yang terkandung dalam bahan menjadi gula reduksi dan senyawa gula lainnya. Pada proses ini bahan baku dihidrolisa menggunakan variabel konsentrasi penambahan enzim  $\alpha$ -amilase sebesar 2 % (w/v) dan 5 % (w/v) pada variabel konsentrasi bahan baku 10%, 30%, dan 40% (w/v).





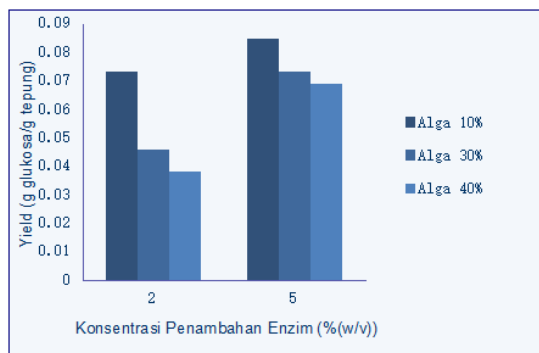
**Gambar 4.1** Perbandingan Kandungan Gula Reduksi setelah Proses Liquifikasi selama 2 jam

**Gambar 4.1** diketahui bahwa pada proses liquifikasi konsentrasi gula reduksi yang didapat pada variabel penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 2 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 7,33 g/l; 13,75 g/l; 15,28 g/l sedangkan pada variabel penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 5 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 8,46 g/l; 22 g/l; 27,5 g/l. Konsentrasi gula reduksi maksimum yang dapat diperoleh selama proses liquifikasi sebesar 27,5 g/l pada konsentrasi alga 40% (w/v) dengan konsentrasi penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 5 % (w/v). Hal ini sesuai dengan literatur yang menjelaskan bahwa semakin besar konsentrasi penambahan enzim, maka semakin besar aktivitas enzim dalam media, sehingga semakin banyak pati yang dikonversikan menjadi gula reduksi (Soeprijanto, 2013).



#### 4.3 Hasil Analisa Yield setelah Proses Liquifikasi.

Proses Liquifikasi dengan bantuan enzim  $\alpha$ -amilase bertujuan untuk menghidrolisis pati yang terkandung dalam bahan menjadi gula reduksi dan senyawa gula lainnya. Pada proses ini bahan baku dihidrolisa menggunakan variabel konsentrasi penambahan enzim  $\alpha$ -amilase sebesar 2 % (w/v) dan 5 % (w/v) pada variabel konsentrasi bahan baku 10%, 30%, dan 40% (w/v). Dengan diketahuinya kandungan gula reduksi yang terbentuk maka dapat dihitung nilai yield dari proses liquifikasi



**Gambar 4.2** Perbandingan Yield Setelah Proses Liquifikasi selama 2 jam

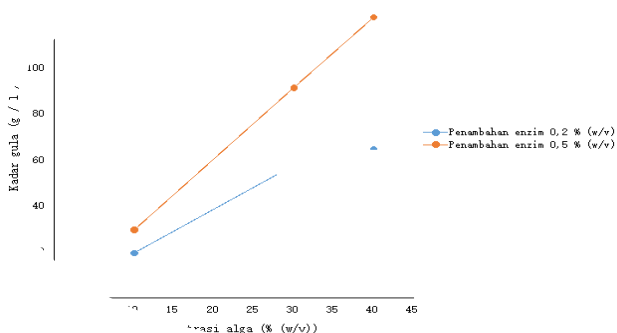
**Gambar 4.2** dapat diketahui bahwa pada proses liquifikasi yield yang didapat pada variabel penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 2 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 0,0733 g gula reduksi/g tepung; 0,045833 g gula reduksi/g tepung; 0,0382 g gula reduksi/g tepung, sedangkan pada variabel penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 5 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 0,0846 g gula reduksi/g tepung; 0,0733 g gula



reduksi/g tepung; 0,06875 g gula reduksi/g tepung. Nilai yield maksimum yang dapat diperoleh selama proses liquifikasi sebesar 0,0846 g gula reduksi/g tepung pada konsentrasi alga 10% (w/v) dengan konsentrasi penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 5 % (w/v). Hal tersebut sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa Yield gula reduksi meningkat dengan meningkatnya penambahan konsentrasi enzim  $\alpha$ -amilase (Soeprijanto, 2013).

#### 4.4 Hasil Analisa Kandungan Gula Reduksi setelah Proses Sakarifikasi.

Setelah pati mengalami proses liquifikasi, kemudian slurry didinginkan dan diteruskan ke proses sakarifikasi. Proses Sakarifikasi dengan bantuan enzim glukoamilase bertujuan untuk melanjutkan hidrolisis pati yang masih terkandung dalam bahan setelah proses liquifikasi menjadi gula reduksi dan senyawa gula lainnya. Pada proses ini bahan baku dihidrolisa menggunakan variabel konsentrasi penambahan enzim glukoamilase sebesar 2% (w/v) dan 5 % (w/v) pada variabel konsentrasi bahan baku 10%, 30%, dan 40% (w/v).



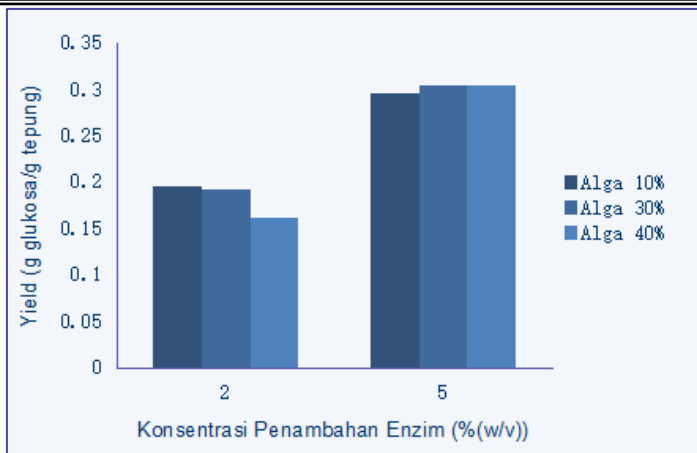
**Gambar 4.3** Perbandingan Kandungan Gula Reduksi setelah Proses Sakarifikasi selama 4 jam



**Gambar 4.3** dapat diketahui bahwa pada proses sakarifikasi konsentrasi gula reduksi yang didapat pada variabel penambahan enzim glukoamilase 2 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 19,64 g/l; 57,89 g/l; 64,62 g/l sedangkan pada variabel penambahan enzim glukoamilase 5 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 29,72 g/l; 91,67 g/l; 122,22 g/l. Konsentrasi gula reduksi maksimum yang dapat diperoleh selama proses sakarifikasi sebesar 122,22 g/l pada konsentrasi alga 40% (w/v) dengan konsentrasi penambahan enzim glukoamilase 5 % (w/v). Hal ini sesuai dengan literatur yang menjelaskan bahwa semakin besar konsentrasi penambahan enzim, maka semakin besar aktivitas enzim dalam media, sehingga semakin banyak pati yang dikonversikan menjadi gula reduksi (Soeprijanto, 2013).

#### 4.5 Hasil Analisa Yield Setelah Proses Sakarifikasi.

Proses Sakarifikasi dengan bantuan enzim glukoamilase bertujuan untuk melanjutkan hidrolisis pati yang masih terkandung dalam bahan setelah proses liquifikasi menjadi gula reduksi dan senyawa gula lainnya. Pada proses ini bahan baku dihidrolisa menggunakan variabel konsentrasi penambahan enzim  $\alpha$ -amilase sebesar 2 % (w/v) dan 5 % (w/v) pada variabel konsentrasi bahan baku 10%, 30%, dan 40% (w/v). Dengan diketahuinya kandungan gula reduksi yang terbentuk maka dapat dihitung nilai yield dari proses sakarifikasi



**Gambar 4.4** Perbandingan Yield Setelah Proses Sakarifikasi selama 4 jam

**Gambar 4.4** dapat diketahui bahwa pada proses sakarifikasi yield yang didapat pada variabel penambahan enzim glukamilase 2 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 0,1964 g gula reduksi/g tepung; 0,192967 g gula reduksi/g tepung; 0,16155 g gula reduksi/g tepung, sedangkan pada variabel penambahan enzim glukamilase 5 % (w/v) dengan konsentrasi alga berturut-turut 10%, 30%, 40% (w/v) sebesar 0,2972 g gula reduksi/g tepung; 0,305567 g gula reduksi/g tepung; 0,30555 g gula reduksi/g tepung. Nilai yield maksimum yang dapat diperoleh selama proses sakarifikasi sebesar 0,305567 g gula reduksi/g tepung pada konsentrasi alga 30% (w/v) dengan konsentrasi penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 5 % (w/v). Hal tersebut sesuai dengan literatur yang menyebutkan bahwa Yield gula reduksi meningkat dengan meningkatnya penambahan konsentrasi enzim  $\alpha$ -amilase. (Soeprijanto,2013).

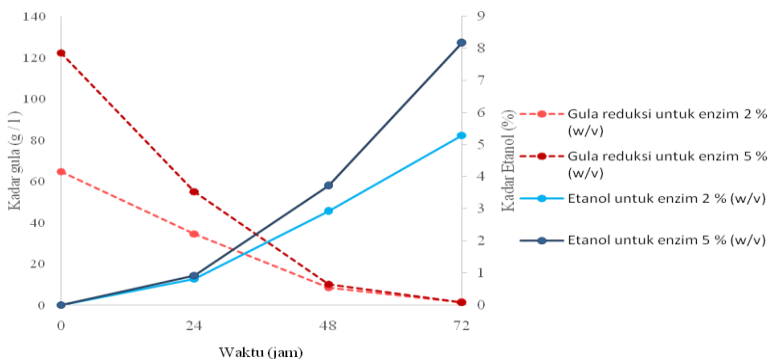


#### 4.6 Produksi Etanol pada Proses Fermentasi

Proses fermentasi dengan bantuan bakteri yeast *Saccharomyces cerevisiae* bertujuan untuk mengkonversi gula reduksi yang terbentuk pada proses fermentasi menjadi etanol. Dengan lama waktu fermentasi 3 hari.

Dari proses fermentasi selama 3 hari didapatkan hasil kadar etanol dari konsentrasi kadar gula reduksi awal sebesar 19,64 g/l didapat kadar etanol sebanyak 1,8 %; untuk konsentrasi gula reduksi awal sebesar 29,72 g/l didapatkan kadar etanol 2,6 %; untuk konsentrasi gula reduksi awal sebesar 57,89 g/l didapatkan kadar etanol 3,7 %; untuk konsentrasi gula reduksi awal sebesar 64,62 g/l didapatkan kadar etanol 5,29 %; untuk konsentrasi gula reduksi awal sebesar 91,67 g/l didapatkan kadar etanol 6,1 %; untuk konsentrasi gula reduksi awal sebesar 122,22 g/l didapatkan kadar etanol 8,16 %.

Pada proses sakarifikasi dan fermentasi menggunakan konsentrasi alga 40% (w/v), dan menggunakan penambahan enzim 2% dan 5% dan yeast *Saccharomyces cerevisiae*.



**Gambar 4.5** Perbandingan Kandungan Gula Reduksi dan Kadar Etanol terhadap Lama Waktu Fermentasi pada Konsentrasi



**Gambar 4.5** dapat diketahui bahwa penambahan konsentrasi enzim yang meningkat menghasilkan kadar gula reduksi dan kadar etanol yang meningkat pula. Pada penambahan enzim dengan konsentrasi 2% pada waktu 0 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam menghasilkan kadar gula reduksi sebesar 64,62 g/l; 34,375 g/l; 8,46 g/l; dan 1,14 g/l. Sedangkan hasil etanol yang didapat berturut-turut sebesar 0%; 0,81%; 2,92%; dan 5,29%. Pada penambahan enzim dengan konsentrasi 5% pada waktu 0 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam menghasilkan kadar gula reduksi sebesar 122,22 g/l; 55 g/l; 10 g/l; dan 1,3 g/l. Sedangkan hasil etanol yang didapat berturut-turut sebesar 0%; 0,92%; 3,71%; dan 8,16%. Sedangkan untuk proses distilasi selama 4 jam di dapatkan kadar etanol hasil penyulingan didapatkan kadar etanol sebesar 46.31 %.

## BAB V

### NERACA MASSA DAN PANAS

#### 5.1 Neraca Massa

Kapasitas : 31 kg bioetanol/hari ;  
9300 kg bioetanol/tahun  
Operasi : 300 hari/tahun; 12 jam/hari  
Satuan Massa : kilogram (kg)  
Basis Waktu : 1 hari

#### Neraca Massa Total

**Tabel 5.1** Komposisi Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

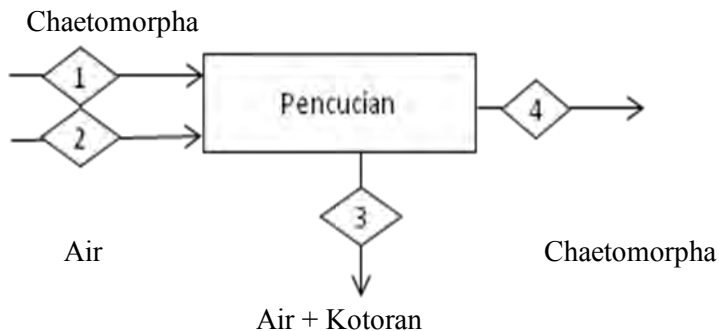
Komponen	Komposisi (%)
Abu	46,25
Lemak	0,97
Protein	2,32
Serat kasar	29,6
Karbohidrat	20,86

(Santi, 2012)

#### 5.1.1 Tahap Persiapan Bahan Baku

##### 5.1.1.1 Pencucian Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi : untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang terdapat pada Alga Hijau (*Chaetomorpha*)





**Tabel 5.2** Neraca Massa Total pada Proses Pencucian

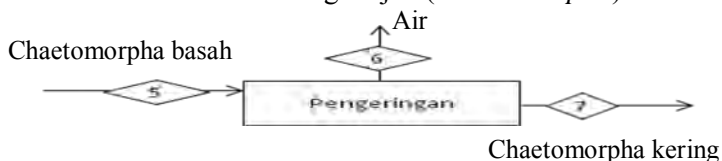
Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 1</b>		<b>Aliran 3</b>	
Chaetomorpha	5000	Air	1000
<b>Aliran 2</b>		Pengotor	250
Air	1000		<b>1250</b>
		<b>Aliran 4</b>	
		Chaetomorpha	4750
	<b>6000</b>		<b>6000</b>

**Tabel 5.3** Neraca Massa Komponen pada Proses Pencucian

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 1</b>		<b>Aliran 3</b>	
Pengotor	250	Air	1000
Abu	878,75	Pengotor	250
Lemak	18,43		<b>1250</b>
Protein	44,08	<b>Aliran 4</b>	
Serat kasar	562,4	Abu	878,75
Karbohidrat	396,34	Lemak	18,43
Air	2850	Protein	44,08
	<b>5000</b>	Serat kasar	562,4
<b>Aliran 2</b>		Karbohidrat	396,34
Air	1000	Air	2850
			<b>4750</b>
	<b>6000</b>		<b>6000</b>

#### 5.1.1.2 Pengeringan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi : untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam Alga hijau (*Chaetomorpha*)



**Tabel 5.4** Neraca Massa Total pada Proses Pengeringan

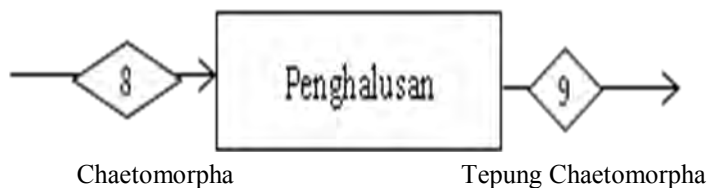
Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 5</b>		<b>Aliran 6</b>	
Chaetomorpha	1900	Air	2660
Air	2850	<b>Aliran 7</b>	
		Chaetomorpha	1900
		Air	190
			<b>2090</b>
	<b>4750</b>		<b>4750</b>

**Tabel 5.5** Neraca Massa Komponen pada Proses Pengeringan

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 5</b>		<b>Aliran 6</b>	
Abu	878,75	Air	2660
Lemak	18,43	<b>Aliran 7</b>	
Protein	44,08	Abu	878,75
Serat kasar	562,4	Lemak	18,43
Karbohidrat	396,34	Protein	44,08
Air	2850	Serat kasar	562,4
		Karbohidrat	396,34
		Air	190
			<b>2090</b>
	<b>4750</b>		<b>4750</b>

#### 5.1.1.3 Penghalusan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi: untuk menghaluskan Alga Hijau(*Chaetomorpha*)



**Tabel 5.6** Neraca Massa Total pada Proses Penghalusan

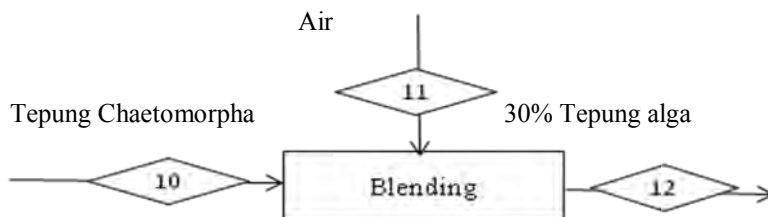
Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 8</b>		<b>Aliran 9</b>	
Chaetomorpha kering	2090	Tepung Chaetomorpha	2090
	<b>2090</b>		<b>2090</b>

**Tabel 5.7** Neraca Massa Komponen pada Proses Penghalusan

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 8</b>		<b>Aliran 9</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	396,34	Karbohidrat	396,34
Air	190	Air	190
	<b>2090</b>		<b>2090</b>

#### 5.1.1.4 Pencampuran Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi: untuk mencampur Alga Hijau(*Chaetomorpha*) dengan air sebelum proses liquifikasi



**Tabel 5.8** Neraca Massa Total pada Proses Pencampuran

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 10</b>		<b>Aliran 12</b>	
Tepung	1900	Tepung	1900
Chaetomorpha		Chaetomorpha	
Air	190	Air	4433,33
	<b>2090</b>		
<b>Aliran 11</b>			
Air	4243,333		
	<b>6333,333</b>		<b>6333,333</b>

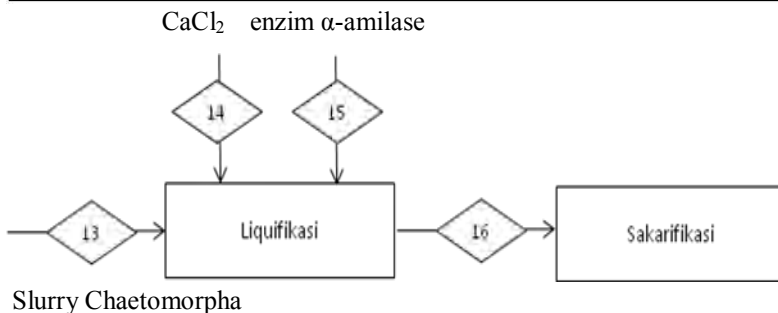
**Tabel 5.9** Neraca Massa Komponen pada Proses Pencampuran

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 10</b>		<b>Aliran 12</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	396,34	Karbohidrat	396,34
Air	190	Air	4433,333
	<b>2090</b>		
<b>Aliran 11</b>			
Air	4243,333		
	<b>6333,333</b>		<b>6333,333</b>

### 5.1.2 Tahap Hidrolisa Enzim

#### 5.1.2.1 Tahap Liquefikasi

Fungsi : untuk mengubah pati menjadi dekstrin dengan penambahan enzim  $\alpha$ -amilase

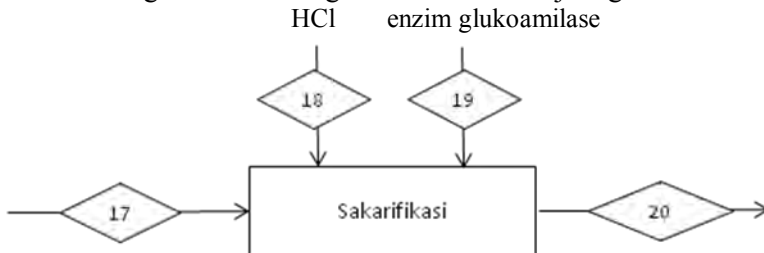

**Tabel 5.10** Neraca Massa Komponen pada Proses Liquifikasi

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 13</b>		<b>Aliran 16</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	78,85	Karbohidrat	78,85
Pati	317,49	Pati	222,243
Air	4433,333	Air	4429,10
	<b>6333,333</b>	CaCl <sub>2</sub>	0,702999963
<b>Aliran 14</b>		Enzim α-amilase	15,8745
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	Dekstrin	47,6235
<b>Aliran 15</b>		Maltosa	20,1077
Enzim α-amilase	15,8745	Glukosa	31,749
	<b>6349,911</b>		<b>6349,911</b>



### 5.1.2.2 Tahap Sakarifikasi

Fungsi : untuk mengubah dekstrin menjadi glukosa



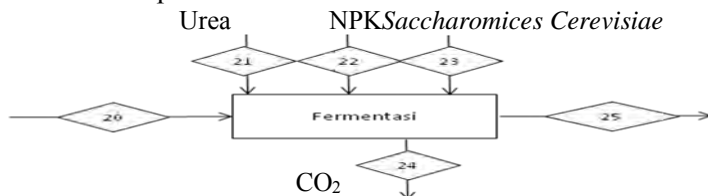
**Tabel 5.11** Neraca Massa Komponen pada Proses Sakarifikasi

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 17</b>		<b>Aliran 20</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	78,85	Karbohidrat	78,85
Pati	222,243	Pati	11,11215
Air	4429,10	Air	4412,237887
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	CaCl <sub>2</sub>	0,702999963
Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745	Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745
Dekstrin	47,6235	HCl	0,0161149
Maltosa	20,1077	Enzim glukoamilase	15,8745
Glukosa	31,749	Dekstrin	1,428705
	<b>6349,911</b>	Maltosa	242,9680417
<b>Aliran 18</b>		Glukosa	83,070642
HCl			
<b>Aliran 19</b>			
Enzim glukoamilase	15,8745		
	<b>6365,8</b>		<b>6365,8</b>



### 5.1.3 Tahap Fermentasi

Fungsi : untuk mengkonversi gula menjadi etanol dengan penambahan nutrisi



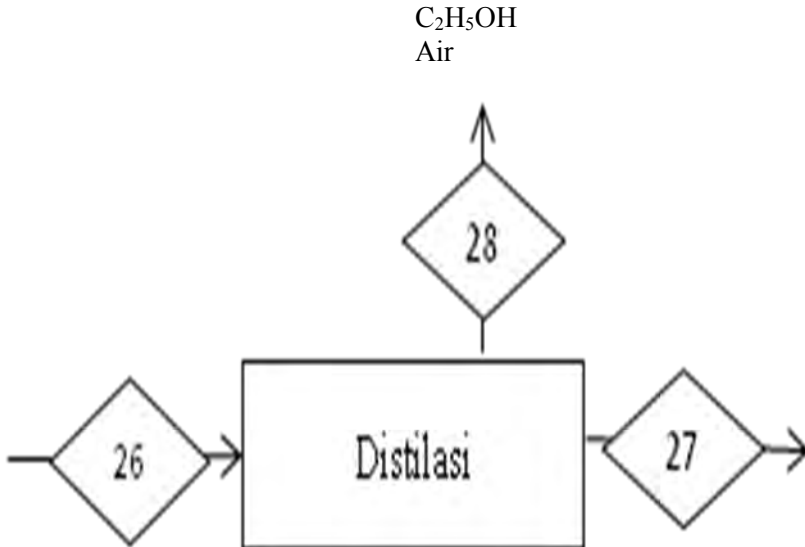
**Tabel 5.12** Neraca Massa Komponen pada Proses Fermentasi

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 20</b>		<b>Aliran 24</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	78,85	Karbohidrat	78,85
Pati	11,11215	Pati	11,11215
Air	4412,2	Air	4412,2
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	CaCl <sub>2</sub>	0,702999963
Enzim α-amilase	15,8745	Enzim α-amilase	15,8745
HCl	0,0161149	HCl	0,0161149
Enzim	15,8745	Enzim	15,8745
glukoamilase		glukoamilase	
Dekstrin	1,428705	Dekstrin	1,428705
Maltosa	242,9680417	Maltosa	242,9680417
Glukosa	83,1759833	Glukosa	0,1509118
	<b>6349,911</b>	Etanol	29,641186221
<b>Aliran 21</b>		Biomasa	23,5598629
Urea	0,166352	CH <sub>3</sub> COOH	0,47731379
<b>Aliran 22</b>		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1,4655209
NPK	0,166352		<b>6337,817</b>
<b>Aliran 23</b>		<b>Aliran 25</b>	
<i>S. Cerevisiae</i>	0,4153532	CO <sub>2</sub>	28,7369529
	<b>6366,62422</b>		<b>6366,62422</b>



### A.5 Tahap Distilasi

Fungsi : untuk mendapatkan kandungan etanol



$$\begin{aligned}\% \text{ kadaretanol} &= 95\% \\ \text{Distilasi suhu} &= 78^{\circ}\text{C} \\ \text{Massa produk} &= 31,2012 \text{ kg} \\ \text{Densitas produk} &= 0,79955 \text{ kg/l} \\ \text{Volume produk} &= \frac{\text{massa produk}}{\text{densitas produk}} \\ &= 39,0235 \text{ liter}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Etanol yang teruapkan} &= \frac{95}{100} \times 31,2012 \\ &= 29,64118629 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Air yang teruapkan} &= \frac{5}{100} \times 31,2012 \\ &= 1,560062 \text{ kg}\end{aligned}$$



**Tabel 5.13** Neraca Massa Komponen pada Proses Distilasi

<b>Neraca Masuk</b>		<b>Neraca Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Berat (kg)</b>	<b>Komponen</b>	<b>Berat (kg)</b>
<b>Aliran 26</b>		<b>Aliran 27</b>	
Abu	878,75	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29,64118621
Lemak	18,43	Air	1,560062
Protein	44,08		<b>31,20124865</b>
Serat kasar	562,4		
Karbohidrat	78,85	Abu	878,75
Pati	11,11215	Lemak	18,43
Air	4412,094693	Protein	44,08
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	Serat kasar	562,4
Enzim α-amilase	15,8745	Karbohidrat	78,85
HCl	0,0161149		
Enzim	15,8745	Pati	11,11215
glukoamilase		Air	4410,535
Dekstrin	1,428705		
Maltosa	242,9680417	CaCl <sub>2</sub>	0,702999963
		Enzim α-amilase	15,8745
Glukosa	0,15073067	HCl	0,0161149
Urea	1,661413	Enzim	15,8745
		glukoamilase	
NPK	1,661413	Dekstrin	1,428705
<i>S.Cereviciae</i>	23,5319714	Maltosa	242,9680417
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1,46376228	Glukosa	0,15073067
CH <sub>3</sub> COOH	0,47731379	Urea	1,661413
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29,64118621	NPK	1,661413
CO <sub>2</sub>	28,7024691	<i>S.Cereviciae</i>	23,5319714
		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1,46376228
		CH <sub>3</sub> COOH	0,47731379
		CO <sub>2</sub>	28,7024691
			<b>6321,71489</b>
	<b>6371,71489</b>		<b>6371,71489</b>



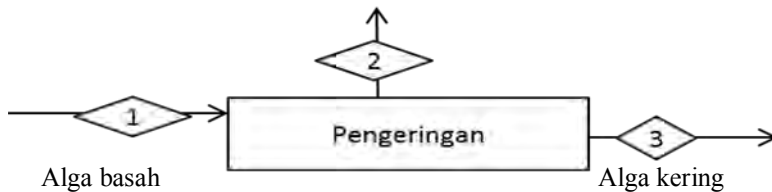
## 5.2 Neraca Panas

Kapasitas	: 31 kg bioetanol/hari; 9300 kg bioetanol/tahun
Operasi	: 300 hari/tahun; 12 jam/hari
Satuan Massa	: Calorie
Basis Waktu	: 1 hari
Suhu reference ( $T_{ref}$ )	: 25°C

### 5.2.1 Pengeringan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi : untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam Alga hijau (*Chaetomorpha*)

Kondisi operasi : T	= 60°C
t	= 24 jam
P	= 1 atm



**Tabel 5.14** H Masuk pada Pengeringan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-T <sub>ref</sub>	H
<b>Aliran 1</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	396340	0,351513	30	5	696593,3121
Air	2850000	0,9987	30	5	14231475
					<b>17394927,15</b>



**Tabel 5.15** H Keluar pada Pengeringan Alga Hijau  
(*Chaetomorpha*)

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 2</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	396340	0,351513	60	35	4876153,185
Air (dalam alga)	190000	1,0001	60	35	6650665
					<b>28794830,06</b>
<b>Aliran 3</b>					
Air	2660000	2358,47	60	35	6273530200
					<b>6302325030</b>

**Tabel 5.16** Neraca Panas Total pada Pengeringan Alga Hijau  
(*Chaetomorpha*)

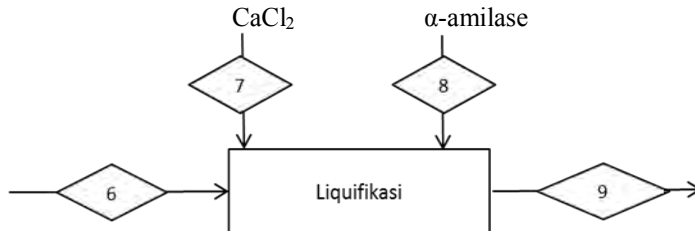
Komponen Masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	1439067,363	Abu	10073471,54
Lemak	397834,5875	Lemak	278484,2113
Pprotein	67004,906	Protein	469034,342
Serat kasar	921003,112	Serat kasar	6447021,784
Karbohidrat	696593,3121	Karbohidrat	4876153,185
Air	14231475	Air (dalam alga)	6650665
Q supply	8254080000	Air	6273530200
		Q loss	1969149897
<b>8271474927</b>		<b>8271474927</b>	



### 5.2.2 Tahap Liquifikasi

Fungsi : untuk mengubah pati menjadi dekstrin dengan penambahan enzim  $\alpha$ -amilase

Kondisi operasi :      T      = 90°C  
                                  t      = 2 jam  
                                  P      = 1 atm

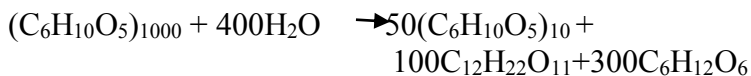


**Tabel 5.17 H Masuk pada Liquifikasi**

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 6</b>					
Abu	878750	0,327526	90	65	18707875,71
Lemak	18430	0,431725	90	65	517184,9638
Protein	44080	0,304015	90	65	871063,778
Serat kasar	562400	0,327526	90	65	11973040,46
Karbohidrat	78850	0,351513	90	65	1801592,003
Pati	317490	0,327526	90	65	6759104,933
Air	4433333	1,005	90	65	289607478,2
					<b>330237340</b>
<b>Aliran 7</b>					
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	90	65	7493,979606
<b>Aliran 8</b>					
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	90	65	329983,2315
					<b>330574817,3</b>

**Tabel 5.18** H Keluar pada Liquifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 9</b>					
Abu	87875	0,327526	90	65	18707875,71
Lemak	1843	0,431725	90	65	517184,9638
Protein	4408	0,304015	90	65	871063,778
Serat kasar	56240	0,327526	90	65	11973040,46
Karbohidrat	7885	0,351513	90	65	1801592,003
Pati	22224,43	0,327526	90	65	4731401,129
Air	442910	1,005	90	65	289330957,5
CaCl <sub>2</sub>	70,2999963	0,164	90	65	7493,979606
α-amilase	1587,45	0,3198	90	65	329983,2315
Dekstrin	4762,35	0,327526	90	65	1013865,74
Maltosa	2010,77	0,335027	90	65	437880,4565
Glukosa	3174,9	0,341778	90	65	705322,1319
					<b>330427661,1</b>



mol	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>1000</sub>	H <sub>2</sub> O	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>10</sub>	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
Mula-mula	1,95621605	351851,9	-	-	-
Reaksi	0,58864815	235,4593	29,432408	58,864815	176,5944
Sisa	1,37351235	351616,4	29,432408	58,864815	176,5944

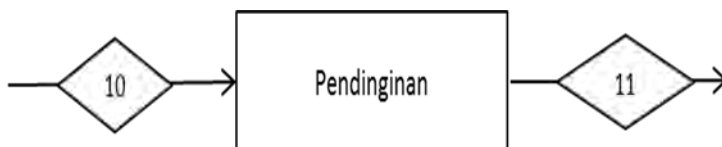
**Tabel 5.19** Neraca Panas Total pada Liquefikasi

Komponen masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	18707875,71	Abu	18707875,71
Lemak	517184,9638	Lemak	517184,9638
Protein	871063,778	Protein	871063,778
Serat kasar	11973040,46	Serat kasar	11973040,46
Karbohidrat	1801592,003	Karbohidrat	1801592,003
Pati	6759104,933	Pati	4731401,129
Air	289607478,2	Air	289330957,5
CaCl <sub>2</sub>	7493,979606	CaCl <sub>2</sub>	7493,979606
$\alpha$ -amilase	329983,2315	$\alpha$ -amilase	329983,2315
Q supply	29233200	Dekstrin	1013865,74
		Maltosa	437880,4565
		Glukosa	705322,1319
		$\Delta H$ reaksi	25974181
		Q loss	3406175,176
<b>359808017,3</b>		<b>359808017,3</b>	

### 5.2.3 Tahap Pendinginan setelah Liquefikasi

Fungsi : menurunkan suhu 90°C menjadi 60°C sebelum diproses ke tahap sakarifikasi

Kondisi operasi :      T      = 60°C  
                                 P      = 1 atm



**Tabel 5.20** H Masuk pada Pendinginan setelah Liquifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 10</b>					
Abu	878750	0,327526	90	65	18707875,71
Lemak	18430	0,431725	90	65	517184,9638
Protein	44080	0,304015	90	65	871063,778
Serat kasar	562400	0,327526	90	65	11973040,46
Karbohidrat	78850	0,351513	90	65	1801592,003
Pati	222244,3	0,327526	90	65	4731401,129
Air	4429100	1,005	90	65	289330957,5
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	90	65	7493,979606
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	90	65	329983,2315
Dekstrin	47623,5	0,327526	90	65	1013865,74
Maltosa	20107,7	0,335027	90	65	437880,4565
Glukosa	31749	0,341778	90	65	705322,1319
					<b>330427661,1</b>

**Tabel 5.21** H Keluar pada Pendinginan setelah Liquifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 11</b>					
Abu	87875	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	1843	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	4408	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	56240	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	7885	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	22224,43	0,327526	60	35	2547677,531
Air	442910	1,001	60	35	155173518,5
CaCl <sub>2</sub>	70,2999963	0,164	60	35	4035,219788
$\alpha$ -amilase	1587,45	0,3198	60	35	177683,2785



Dekstrin	4762,35	0,327526	60	35	545927,7061
Maltosa	2010,77	0,335027	60	35	235781,7843
Glukosa	3174,9	0,341778	60	35	379788,8403
					<b>177302512,7</b>

**Tabel 5.22** Neraca Panas Total pada Pendinginan setelah Liquefikasi

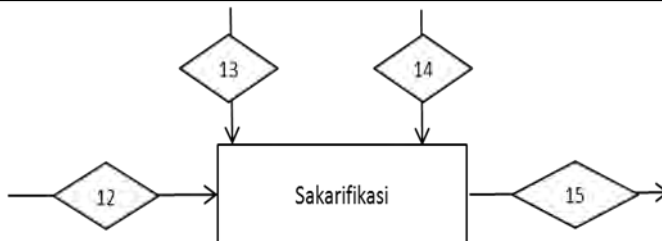
Komponen masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	18707875,71	Abu	10073471,54
Lemak	517184,9638	Lemak	278484,2113
Protein	871063,778	Protein	469034,342
Serat kasar	11973040,46	Serat kasar	6447021,784
Karbohidrat	1801592,003	Karbohidrat	970088,0018
Pati	4731401,129	Pati	2547677,531
Air	289330957,5	Air	155173518,5
CaCl <sub>2</sub>	7493,979606	CaCl <sub>2</sub>	4035,219788
$\alpha$ -amilase	329983,2315	$\alpha$ -amilase	177683,2785
Dekstrin	1013865,74	Dekstrin	545927,7061
Maltosa	437880,4565	Maltosa	235781,7843
Glukosa	705322,1319	Glukosa	379788,8403
		Q loss	153125148,3
<b>330427661,1</b>		<b>330427661,1</b>	

#### 5.2.4 Tahap Sakarifikasi

Fungsi : untuk mengubah dekstrin menjadi glukosa

Kondisi operasi :      T      = 60°C  
                                     t      = 4 jam  
                                     P      = 1 atm



**Tabel 5.23** H Masuk pada Sakarifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 12</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	78850	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	222244,3	0,327526	60	35	2547677,531
Air	4429100	1,0002975	60	35	155064618
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	60	35	4035,219788
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	60	35	177683,2785
Dekstrin	47623,5	0,327526	60	35	545927,7061
Maltosa	20107,7	0,335027	60	35	235781,7843
Glukosa	31749	0,341778	60	35	379788,8403
					<b>177193612,2</b>
<b>Aliran 13</b>					
HCl	16,11490000	0,19	60	35	107,164085
<b>Aliran 14</b>					
Glukoamilase	15874,5	0,0006	60	35	333,3645
					<b>177194052,8</b>

**Tabel 5.24** H Keluar pada Sakarifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T (°C)	T-Tref	H
<b>Aliran 15</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	78850	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	11112,15	0,327526	60	35	127383,1314
Air	4412237,887	1,0002975	60	35	154474268,5
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	60	35	4035,219788
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	60	35	177683,2785
Dekstrin	1428,705	0,327526	60	35	16377,83118
Maltosa	242968,0417	0,335027	60	35	2849029,894
Glukosa	83070,642	0,341778	60	35	993710,1259
HCl	16,1149	0,19	60	35	107,164085
Glukoamilase	15874,5	0,0006	60	35	333,3645
					<b>176881028,4</b>

**Tabel 5.25** Neraca Panas Total pada Sakarifikasi

Komponen masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	10073471,54	Abu	10073471,54
Lemak	278484,2113	Lemak	278484,2113
Protein	469034,342	Protein	469034,342
Serat kasar	6447021,784	Serat kasar	6447021,784
Karbohidrat	970088,0018	Karbohidrat	970088,0018
Pati	2547677,531	Pati	127383,1314
Air	155064618	Air	154474268,5
CaCl <sub>2</sub>	4035,219788	CaCl <sub>2</sub>	4035,219788

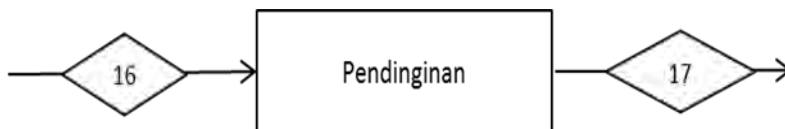


$\alpha$ -amilase	177683,2785	$\alpha$ -amilase	177683,2785
Dekstrin	545927,7061	Dekstrin	16377,83118
Maltosa	235781,7843	Maltosa	2849029,894
Glukosa	379788,8403	Glukosa	993710,1259
HCl	107,164085	HCl	107,164085
Glukoamilase	333,3645	Glukoamilase	333,3645
Q supplay	29233200	Q loss	654825932,4
		$\Delta H$ reaksi	-625279708
<b>206427252,8</b>		<b>206427252,8</b>	

### 5.2.5 Tahap Pendinginan setelah Sakarifikasi

Fungsi : menurunkan suhu 60°C menjadi 30°C sebelum diproses ke tahap fermentasi

Kondisi operasi :     T     = 30°C  
                               P     = 1 atm



**Tabel 5.26 H Masuk pada Pendinginan setelah Sakarifikasi**

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 16</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
karbohidrat	78850	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	11112,15	0,327526	60	35	127383,1314



Air	4412237,887	1,0001	60	35	154443768,9
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	60	35	4035,219788
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	60	35	177683,2785
dekstrin	1428,705	0,327526	60	35	16377,83118
maltosa	242968,0417	0,335027	60	35	2849029,894
glukosa	83070,642	0,341778	60	35	993710,1259
HCl	16,1149	0,19	60	35	107,164085
Glukoamilase	15874,5	0,0006	60	35	333,3645
					<b>176850528,8</b>

**Tabel 5.27** H Keluar pada Pendinginan setelah Sakarifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 17</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412237,887	0,9987	30	5	22032509,89
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	30	5	576,4599697
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,690169
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	83070,642	0,341778	30	5	141958,5894
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,309155
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
					<b>25233475,59</b>



**Tabel 5.28** Neraca Panas Total pada Pendinginan setelah Sakarifikasi

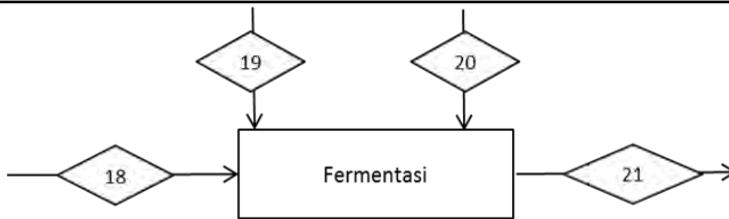
Komponen masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	10073471,54	Abu	1439067,363
Lemak	278484,2113	Lemak	39783,45875
Protein	469034,342	Protein	67004,906
Serat kasar	6447021,784	Serat kasar	921003,112
Karbohidrat	970088,0018	Karbohidrat	138584,0003
Pati	127383,1314	Pati	18197,5902
Air	154443768,9	Air	22032509,89
CaCl <sub>2</sub>	4035,219788	CaCl <sub>2</sub>	576,4599697
$\alpha$ -amilase	177683,2785	$\alpha$ -amilase	25383,3255
Dekstrin	16377,83118	Dekstrin	2339,690169
Maltosa	2849029,894	Maltosa	407004,2705
Glukosa	993710,1259	Glukosa	141958,5894
HCl	107,164085	HCl	15,309155
Glukoamilase	333,3645	Glukoamilase	47,6235
		Q Loss	151617052,4
	<b>17685052,88</b>		<b>176850528,8</b>

### 5.2.6 Tahap Fermentasi

Fungsi : untuk mengkonversi gula menjadi etanol dengan penambahan nutrisi

Kondisi operasi :

T	= 30°C
t	= 72 jam
P	= 1 atm



Tabel 5.29 H Masuk pada Fermentasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T- Tref	H
<b>Aliran 18</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412212,638	0,9987	30	5	22032383,81
CaCl <sub>2</sub>	702,99996	0,164	30	5	576,45997
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,30916
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,69017
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	83175,98333	0,341778	30	5	142138,6062
					<b>25233529,52</b>
<b>Aliran 19</b>					
Nutrien	33,270393	0,4473	30	5	744,09234
<b>Aliran 20</b>					
yeast	41,587992	0,4473	30	5	930,1154411
					<b>25235203,73</b>

**Tabel 5.30** H Keluar pada Fermentasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T- Tref	H
<b>Aliran 21</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412069,272	0,9987	30	5	22031667,91
CaCl <sub>2</sub>	00702,99996	0,164	30	5	576,45997
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,30916
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,69017
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	150,91176	0,341778	30	5	257,8916
Etanol	29676,79776	0,461385	30	5	68462,14667
Co <sub>2</sub>	28736,95285	0,124	30	5	17816,91077
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1465,52088	0,54	30	5	3956,90638
Biomasa	23559,86286	0,32	30	5	37695,78058
CH <sub>3</sub> COOH	477,88724	0,579987253	30	5	1385,84254
					<b>25220250,5</b>

**Tabel 5.31** Neraca Panas Total pada Fermentasi

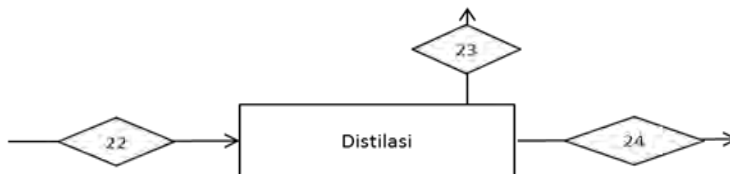
Komponen	H masuk	Komponen	H keluar
Abu	1439067,363	Abu	1439067,363
Lemak	39783,45875	Lemak	39783,45875
Protein	67004,906	Protein	67004,906
Serat kasar	921003,112	Serat kasar	921003,112
Karbohidrat	138584,0003	Karbohidrat	138584,0003
Pati	18197,5902	Pati	18197,5902
Air	22032383,81	Air	22031667,91
CaCl <sub>2</sub>	576,45997	CaCl <sub>2</sub>	576,45997
$\alpha$ -amilase	25383,3255	$\alpha$ -amilase	25383,3255
HCl	15,30916	HCl	15,30916
Glukoamilase	47,6235	Glukoamilase	47,6235
Dekstrin	2339,69017	Dekstrin	2339,69017
Maltosa	407004,2705	Maltosa	407004,2705
Glukosa	142138,6062	Glukosa	257,8916
Nutrien	744,0923394	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	68462,14667
Yeast	930,1154411	CO <sub>2</sub>	17816,91077
		Gliserol	3956,90638
		Biomasa	37695,78058
		CH <sub>3</sub> COOH	1385,84254
		$\Delta H$ reaksi	-6384712,382
		Q Loss	6399665,617
	<b>25235203,73</b>		<b>25235203,73</b>

### 5.2.7 Tahap Distilasi

Fungsi : untuk mendapatkan kandungan etanol

Kondisi operasi :      T      = 78°C  
   t      = 6 jam  
   P      = 1 atm





Tabel 5.32 H Masuk pada Distilasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T- Tref	H
<b>Aliran 22</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412069,272	0,9987	30	5	22031667,91
CaCl <sub>2</sub>	702,99996	0,164	30	5	576,45997
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,30916
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,69017
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	150,73067	0,341778	30	5	257,5821347
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29641,18621	0,461385	30	5	68379,9935
CO <sub>2</sub>	28702,4691	0,124	30	5	17795,53084
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1463,76228	0,54	30	5	3952,158156
Biomasa	26854,7984	0,32	30	5	42967,67744
CH <sub>3</sub> COOH	477,31379	0,579987253	30	5	1384,179569
					<b>25225412,14</b>


**Tabel 5.33 H Keluar pada Distilasi**

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 23</b>					
Abu	878750	0,327526	78	53	15254114,04
Lemak	18430	0,431725	78	53	421704,6628
Protein	44080	0,304015	78	53	710252,0036
Serat kasar	562400	0,327526	78	53	9762632,987
Karbohidrat	78850	0,351513	78	53	1468990,403
Pati	11112,15	0,327526	78	53	192894,4562
Air	4410535	0,9987	78	53	233454469,1
CaCl <sub>2</sub>	702,99996	0,164	78	53	6110,475652
Enzim $\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	78	53	269063,2503
HCl	16,1149	0,19	78	53	162,277043
Enzim glukoamilase	15874,5	0,0006	78	53	504,8091
Dekstrin	1428,705	0,327526	78	53	24800,71579
Maltosa	242968,0417	0,335027	78	53	4314245,268
Glukosa	150,73067	0,341778	78	53	2730,370627
biomasa	26854,7974	0,579987253	78	53	825498,3292
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1463,76228	0,146552088	78	53	11369,42318
CH <sub>3</sub> COOH	477,31379	0,047788724	78	53	1208,9415
CO <sub>2</sub>	28702,4691	0,124	78	53	188632,6269
					<b>266909384,2</b>
<b>Aliran 24</b>					
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29641,18621	0,461385	78	53	724827,9311
Air	1560,062	0,9987	78	53	164086,41
					<b>888914,3411</b>
					<b>267798298,5</b>

**Tabel 5.34** Neraca Panas Total pada Distilasi

Komponen	H masuk	Komponen	H keluar
Abu	1439067,363	Abu	15254114,04
Lemak	39783,45875	Lemak	421704,6628
Protein	67004,906	Protein	710252,0036
Serat kasar	921003,112	Serat kasar	9762632,987
Karbohidrat	138584,0003	Karbohidrat	1468990,403
Pati	18197,5902	Pati	192894,4562
Air	22031667,91	Air	233454469,1
CaCl <sub>2</sub>	576,45997	CaCl <sub>2</sub>	6110,475652
$\alpha$ -amilase	25383,3255	Enzim	
HCl	15,30916	$\alpha$ -amilase	269063,2503
Glukoamilase	47,6235	HCl	162,277043
Dekstrin	2339,69017	Enzim	
Maltosa	407004,2705	glukoamilase	504,8091
Glukosa	257,5821347	Dekstrin	24800,71579
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	68379,9935	Maltosa	4314245,268
CO <sub>2</sub>	17795,53084	Glukosa	2730,370627
Gliserol	3952,158156	Biomasa	825498,3292
Biomasa	42967,67744	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	11369,42318
CH <sub>3</sub> COOH	1384,179569	CH <sub>3</sub> COOH	1208,9415
Q supply	29233200	CO <sub>2</sub>	18863,26269
		C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	724827,9311
		Air	164086,41
		Q loss	-213339686
	<b>54458612,14</b>		<b>54458612,14</b>

## BAB VI ESTIMASI BIAYA

### 6.1 Estimasi Biaya

Estimasi Biaya Total “Pembuatan Bioetanol dari Alga Hijau (*Chaetomorpha*) dengan Proses Hidrolisa Enzim dan Fermentasi” dengan kapasitas produksi 20 liter/hari.

**Tabel 6.1** Investasi Bahan Habis Pakai (*variable Cost*)

No	Keterangan	Kuantitas	Harga satuan(Rp)	Total biaya(Rp.)
<b>Bahan baku + Pelengkap (dalam 1 hari)</b>				
1.	Chaetomorpha	150 kg	1.000	150.000
2.	CaCl <sub>2</sub>	0,05 kg	17.000	2.500
3.	HCl	0,5 liter	50.000	8.500
4.	Enzim $\alpha$ -amilase	0,2 liter	150.000	30.000
5.	Enzim gluko amilase	0,2 liter	170.000	34.000
6.	<i>Saccaromyces cereviseae</i>	0,0625 kg	150.000	9.375
7.	Urea	1 kg	2000	2000
8.	NPK	1 kg	3000	3000
9.	Kemasan	20 unit	1500	30.000
<b>Sub-Total</b>				<b>269.375</b>

**Tabel 6.2** Biaya Pendukung Utilitas

No	Keterangan	Kuantitas	Harga satuan(Rp)	Total biaya(Rp.)
<b>Utilitas (dalam 1 bulan)</b>				
1.	Air	20m <sup>3</sup>	6000	120.000
2.	Listrik	200 kWh	1500	300.000
<b>Sub-Total</b>				<b>420.000</b>

**Tabel 6.3** Biaya Pendukung Lain-lain

No	Keterangan	Kuantitas	Harga satuan(Rp.)	Total biaya(Rp.)
<b>Lain-lain (dalam 1 bulan)</b>				
1	Gaji Karyawan	2 orang	2.000.000	4.000.000
2	<i>Maintenance peralatan</i>	-	200.000	200.000
<b>Sub-Total</b>				<b>4.200.000</b>

**Tabel 6.4** Investasi Alat

No	Keterangan	Kuantitas	Harga (Rp.)	Total Biaya (Rp.)
1.	Crusher	1 unit	2.900.000	2.900.000
2.	Oven	3 unit	1.100.000	3.300.000
3.	Alat hidrolisa	5 unit	1.500.000	7.500.000
4.	Alat distilasi	10 unit	1.500.000	15.000.000
5.	Tangki fermentor	3 unit	300.000	900.000
6.	Timbangan duduk 50 kg	1 unit	2.100.000	2.100.000
<b>Total</b>				<b>31.700.000</b>

**a. Biaya tetap (FC)**

Biaya tetap adalah total biaya yang tidak akan mengalami perubahan apabila terjadi perubahan volume produksi. Biaya tetap secara total akan selalu konstan sampai tingkat kapasitas penuh. Biaya tetap merupakan biaya yang akan selalu terjadi walaupun perusahaan tidak berproduksi. Biaya tetap meliputi PBB, penyusutan alat, sewa tanah atau bangunan, utilitas, gaji karyawan, dan *maintenance* peralatan.

## 1. Nilai asset peralatan

Harga awal peralatan total - harga akhir umur peralatan

$$\frac{31.700.000 - 3.170.000}{20} = 1.426.500$$



$$\begin{aligned} 2. \text{ Nilai asset perusahaan pada akhir tahun ke- 20 :} \\ 31.700.000 - 20 (1.426.500) &= 3.170.000 \\ \text{Sewa bangunan / bulan} &= 1.700.000 \\ \text{Utilitas} &= 420.000 \\ \text{Gaji karyawan} &= 4.000.000 \\ \text{Maintenance peralatan} &= 200.000 \\ + \\ \text{Total} &= 9.490.000 \end{aligned}$$

**b. Biaya variabel (VC)**

Biaya variabel adalah total biaya yang berubah-ubah tergantung dengan perubahan volume penjualan/produksi. Biaya variabel akan berubah secara proposional dengan perubahan volume produksi. Biaya variabel meliputi kebutuhan bahan baku.

Biaya variabel per produksi = Rp 269.375

$$\begin{aligned} \text{Biaya variabel per kg} &= \frac{\text{Biaya variabel per produksi}}{\text{Jumlah produksi}} \\ &= \frac{\text{Rp } 269.375}{20} \\ &= \text{Rp } 13.468,75 \end{aligned}$$

**c. Biaya produksi total (TC)**

Biaya produksi total merupakan biaya yang dibutuhkan untuk melakukan proses produksi dalam waktu satu bulan.

$$\begin{aligned} \text{FC} + (30 \text{ VC}) &= \text{Rp } 9.490.000 + (30 \times \text{Rp } 269.375) \\ &= \text{Rp } 17.571.250 \end{aligned}$$

**6.2 Harga Pokok Penjualan (HPP)**

Harga pokok penjualan adalah seluruh biaya yang dikeluarkan untuk memperoleh barang yang dijual atau harga perolehan dari barang yang dijual.



- Jumlah bioetanol yang dihasilkan dalam 1 kali produksi = 20 Liter
- Jumlah gas yang dihasilkan dalam 1 bulan = 600 Liter

$$\text{HPP} = \frac{\text{Biaya produksi total (FC)}}{\text{Jumlah produk per bulan}}$$

$$= \frac{\text{Rp } 17.571.250}{600}$$

$$= \text{Rp } 29.285/\text{Liter}$$

- Laba  $\begin{aligned} &= 30\% \times \text{HPP} \\ &= 30\% \times \text{Rp } 29.285 \\ &= \text{Rp } 8.785,63 \end{aligned}$
- Harga jual  $\begin{aligned} &= \text{HPP} + \text{Laba} \\ &= \text{Rp } 38.071,04/\text{Liter} \end{aligned}$
- Hasil penjualan per bulan  $\begin{aligned} &= \text{Rp } 38.071,04 \times 600 \text{ Liter} \\ &= \text{Rp } 22.842.625 \end{aligned}$
- Laba per bulan  $\begin{aligned} &= \text{Rp } 22.842.625 - \text{Rp } 17.571.250 \\ &= \text{Rp } 5.271.375 \end{aligned}$
- Laba per tahun  $\begin{aligned} &= \text{Rp } 5.271.375 \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 63.256.500 \end{aligned}$

### 6.3 Break Even Point (BEP)

**Break Even Point (BEP)** ialah titik impas dimana posisi jumlah pendapatan dan biaya sama atau seimbang sehingga tidak terdapat keuntungan ataupun kerugian dalam suatu perusahaan. *Break Even Point* ini digunakan untuk menganalisis proyeksi sejauh mana banyaknya jumlah unit yang diproduksi atau sebanyak apa uang yang harus diterima untuk mendapatkan titik impas atau kembali modal.



- BEP unit: titik impas (BEP) yang dinyatakan dalam jumlah penjualan produk di nilai tertentu.

$$\begin{aligned}\text{BEP unit} &= \frac{\text{Biaya tetap}}{\text{Harga jual per liter} - \text{biaya variabel per liter}} \\ &= \frac{\text{Rp } 9.490.000}{38.071,04 - 13.468,75} \\ &= 386\end{aligned}$$

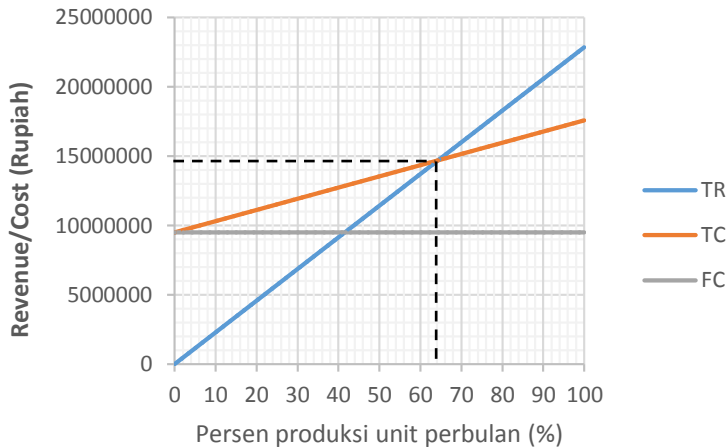
Artinya, perusahaan perlu menjual 386 Liter bioethanol agar terjadi BEP. Setelah penjualan ke 386 Liter, maka perusahaan tersebut akan mulai memperoleh keuntungan.

- BEP rupiah: titik impas (BEP) yang dinyatakan dalam jumlah penjualan atau harga penjualan tertentu.

$$\begin{aligned}\text{BEP rupiah} &= \text{Harga Jual} \times \text{BEP unit} \\ &= \text{Rp } 38.071,04 \times 386 \\ &= \text{Rp } 14.685.387,46\end{aligned}$$

Artinya, perusahaan perlu mendapatkan omset penjualan bioethanol senilai Rp 14.685.387,46 agar terjadi BEP, maka perusahaan tersebut akan mulai memperoleh keuntungan setelah mendapat omset sebesar Rp 14.685.387,46.





**Gambar 6.1** Break Even Point (BEP)

Keterangan :

BEP	= Break Even Point	TR	= Total Revenue
TC	= Total Cost	FC	= Fix Cost

## **BAB VII**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **7.1 Kesimpulan**

Dari proses pembuatan bioetanol dari Alga Hijau (*Chaetomorpha*) didapatkan kesimpulan:

1. Kadar gula tereduksi maksimum dicapai dengan konsentrasi tepung alga hijau (*Chaetomorpha*) 40% (w/w) dengan penambahan enzim 5 % (w/v) pada proses liquifikasi sebesar 27.5 g/l.
2. Kadar gula maksimum dicapai dengan konsentrasi tepung alga hijau (*Chaetomorpha*) 40% (w/w) dengan penambahan enzim 5% (w/v) pada proses sakarifikasi sebesar 84,615 g/l.
3. Kadar etanol maksimum dicapai dengan konsentrasi tepung alga hijau (*Chaetomorpha*) 40% (w/w) dengan penambahan enzim 5% (w/v) sebesar 8,16 % pada variabel 72 jam.

#### **7.2 Saran**

Untuk memperoleh hasil etanol yang tinggi perlu dilakukan pemurnian lebih lanjut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Candra, K. P. (2011). Study on Bioethanol Production using Red Seaweed *Euchema cottoni* from Bontang Sea Water. *Journal of Coastal Development* .
- Dr.Ir.Anang Mohamad Legowo, M. (2004). *Analisa Pangan*. Semarang: UNDIP.
- Fessenden, R.J, & Fessenden, J.S., *Kimia Organik*, Edisi Ketiga, Jilid 1. Jakarta: Erlangga
- Herawati, H. (2010). Potensi Pengembangan Produk Pati Tahan Cerna sebagai Pangan Fungsional.
- Hougen, A., *Chemical Process Principle. Part I: Material and Enery Balance*, Second Edition, New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Jayanti, R. T. (2011). Pengaruh pH, Suhu Hidrolisis Enzim Amilase dan Konsentrasi Ragi Roti untuk Produksi Etanol Menggunakan Bekatul. *Jurnal Biologi* .
- Mineral, P. D. (2012). *Kajian Supply Demand Energy*. Indonesia.
- Nangin, D. (2013). Enzim Amilase Pemecah Pati Mentah dari Mikroba . *Jurnal Pangan dan Agroindustri* , 1032-1039.
- Narulloh. (2009). Hidrolisis Asam dan Enzimatis Pati Ubi Jalar (*Ipomoea batatas* L) Menjadi Glukosa sebagai Substrat Fermentasi etanol. *Skripsi* .
- Nurfida, A. (2013). Pembuatan Maltodekstrin dengan Proses Hidrolisa Parsial Pati Singkong menggunakan Enzim amilase. *Jurnal Teknik Kimia* .
- Oktavianus, F. (2013). Pembuatan Bioetanol dari Batang Jarak menggunakan Metode Hidrolisa dengan Katalis Asam Sulfat. *Jurnal teknik Kimia* .
- Rutz, D. (2007). *Biofuel Technology Handbook*. Germany: WIP Renewable Energies.
- Soeprijanto. (2013). Teknologi pengembangan Bioetanol dari Biomassa Sorghum. Edisi Pertama. ITS Press: Surabaya.
- Teurupun, A. (2013). Identifikasi Kapang pada Rumput Laut Kering *Euchema cottoni* Kering dari Desa rap Rap

Arakan Kecamatan Tatapaan kabupaten Minahasa Selatan.

Yusrin. (2010). Proses Hidrolisis Onggok dengan variasi Asam pada Pembuatan Bioetanol. *Prosiding Seminar Nasional Unimus 2010* .

## APPENDIKS A NERACA MASSA

### A.1 Neraca Massa Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Kapasitas : 31 kg bioetanol/hari;  
                   9300 kg bioetanol/tahun  
 Operasi : 300 hari/tahun; 12 jam/hari  
 Satuan Massa : kilogram (kg)  
 Basis Waktu : 1 hari

### Neraca Massa Total

**Tabel A.1** Komposisi Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

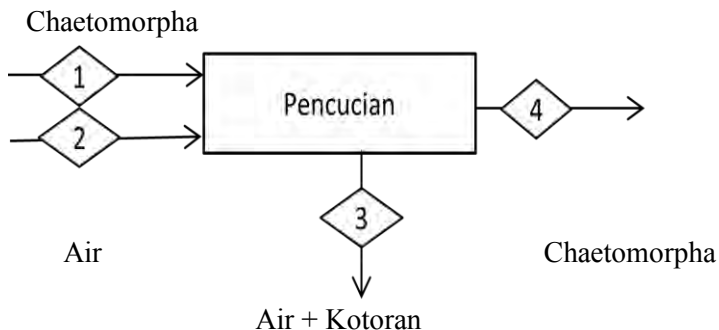
Komponen	Komposisi (%)
Abu	46,25
Lemak	0,97
Protein	2,32
Serat kasar	29,6
Karbohidrat	20,86

(Santi, 2012)

### A.2 Tahap Persiapan Bahan Baku

#### A.2.1 Pencucian Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi : untuk menghilangkan kotoran-kotoran yang terdapat pada Alga Hijau (*Chaetomorpha*)



**Tabel A.2 Neraca Massa Total pada Proses Pencucian**

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 1</b>		<b>Aliran 3</b>	
Chaetomorpha	5000	Air	1000
<b>Aliran 2</b>		Pengotor	250
Air	1000		<b>1250</b>
		<b>Aliran 4</b>	
		Chaetomorpha	4750
	<b>6000</b>		<b>6000</b>

**<Aliran 1>**

Pengotor	= 0,05	x 5000 = 250	kg
Abu	= 0,17575	x 5000 = 878,75	kg
Lemak	= 0,003686	x 5000 = 18,43	kg
Protein	= 0,008816	x 5000 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,11248	x 5000 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,079268	x 5000 = 396,34	kg
Air	= 0,57	x 5000 = 2850	kg
<b>Total</b>		<b>5000</b>	<b>kg</b>

**<Aliran 2>**

Air	1000	kg
-----	------	----

**<Aliran 3>**

Air	1000	kg
Pengotor	250	kg
<b>Total</b>	<b>1250</b>	<b>kg</b>

**<Aliran 4>**

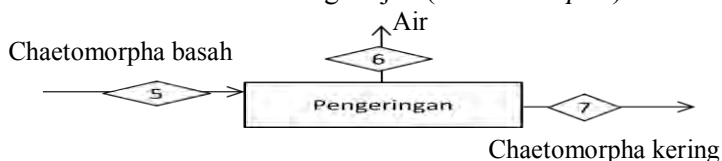
Abu	= 0,17575	x 5000 = 878,75	kg
Lemak	= 0,003686	x 5000 = 18,43	kg
Protein	= 0,008816	x 5000 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,11248	x 5000 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,079268	x 5000 = 396,34	kg
Air	= 0,57	x 5000 = 2850	kg
<b>Total</b>		<b>4750</b>	<b>kg</b>

**Tabel A.3** Neraca Massa Komponen pada Proses Pencucian

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 1</b>		<b>Aliran 3</b>	
Pengotor	250	Air	1000
Abu	878,75	Pengotor	250
Lemak	18,43		<b>1250</b>
Protein	44,08	<b>Aliran 4</b>	
Serat kasar	562,4	Abu	878,75
Karbohidrat	396,34	Lemak	18,43
Air	2850	Protein	44,08
	<b>5000</b>	Serat kasar	562,4
<b>Aliran 2</b>		Karbohidrat	396,34
Air	1000	Air	2850
			<b>4750</b>
	<b>6000</b>		<b>6000</b>

### A.2.2 Pengeringan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi : untuk mengurangi kadar air yang terkandung dalam Alga hijau (*Chaetomorpha*)



**Tabel A.4** Neraca Massa Total pada Proses Pengeringan

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 5</b>		<b>Aliran 6</b>	
Chaetomorpha	1900	Air	2660
Air	2850	<b>Aliran 7</b>	
		Chaetomorpha	1900
		Air	190
			<b>2090</b>
	<b>4750</b>		<b>4750</b>

**<Aliran 5>**

Abu	= 0,1851	x 4750 = 878,75	kg
Lemak	= 0,00388	x 4750 = 18,43	kg
Protein	= 0,00928	x 4750 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,1184	x 4750 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,08344	x 4750 = 396,34	kg
Air	= 0,6	x 4750 = 2850	kg
<b>Total</b>		<b>4750</b>	<b>kg</b>

**<Aliran 6>**

Air	= 0,9	x 2850 = 2660	kg
-----	-------	---------------	----

**<Aliran 7>**

Abu	= 0,1851	x 4750 = 878,75	kg
Lemak	= 0,00388	x 4750 = 18,43	kg
Protein	= 0,00928	x 4750 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,1184	x 4750 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,08344	x 4750 = 396,34	kg
Air	= 0,1	x 1900 = 190	kg
<b>Total</b>		<b>2090</b>	<b>kg</b>

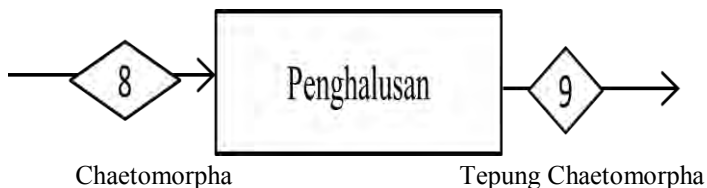
**Tabel A.5 Neraca Massa Komponen pada Proses Pengeringan**

<b>Neraca Masuk</b>		<b>Neraca Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Berat (kg)</b>	<b>Komponen</b>	<b>Berat (kg)</b>
<b>Aliran 5</b>		<b>Aliran 6</b>	
Abu	878,75	Air	2660
Lemak	18,43	<b>Aliran 7</b>	
Protein	44,08	Abu	878,75
Serat kasar	562,4	Lemak	18,43
Karbohidrat	396,34	Protein	44,08
Air	2850	Serat kasar	562,4
		Karbohidrat	396,34
		Air	190
			<b>2090</b>
	<b>4750</b>		<b>4750</b>



### A.2.3 Penghalusan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi: untuk menghaluskan Alga Hijau(*Chaetomorpha*)



**Tabel A.6** Neraca Massa Total pada Proses Penghalusan

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 8</b>		<b>Aliran 9</b>	
Chaetomorpha kering	2090	Tepung Chaetomorpha	2090
	<b>2090</b>		<b>2090</b>

#### <Aliran 8>

Abu	= 0,4625	x 1900 = 878,75	kg
Lemak	= 0,0097	x 1900 = 18,43	kg
Protein	= 0,0232	x 1900 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,296	x 1900 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,2086	x 1900 = 396,34	kg
Air	= 0,1	x 1900 = 190	kg
<b>Total</b>		<b>2090</b>	<b>kg</b>

#### <Aliran 9>

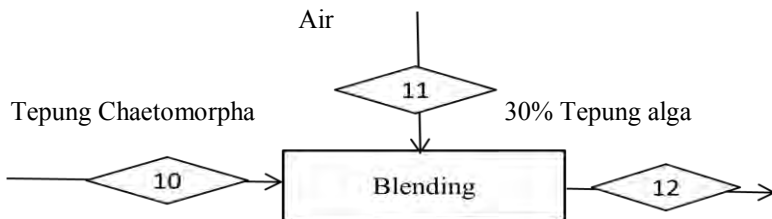
Abu	= 0,4625	x 1900 = 878,75	kg
Lemak	= 0,0097	x 1900 = 18,43	kg
Protein	= 0,0232	x 1900 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,296	x 1900 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,2086	x 1900 = 396,34	kg
Air	= 0,1	x 1900 = 190	kg
<b>Total</b>		<b>2090</b>	<b>kg</b>

**Tabel A.7** Neraca Massa Komponen pada Proses Penghalusan

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 8</b>		<b>Aliran 9</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	396,34	Karbohidrat	396,34
Air	190	Air	190
<b>2090</b>		<b>2090</b>	

#### A.2.4 Pencampuran Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi: untuk mencampur Alga Hijau(*Chaetomorpha*) dengan air sebelum proses liquifikasi



**Tabel A.8** Neraca Massa Total pada Proses Pencampuran

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 10</b>		<b>Aliran 12</b>	
Tepung Chaetomorpha	1900	Tepung Chaetomorpha	1900
Air	190	Air	4433,33
	<b>2090</b>		
<b>Aliran 11</b>			
Air	4243,333		
	<b>6333,333</b>		<b>6333,333</b>

**<Aliran 10>**

Abu	= 0,4625	x 1900 = 878,75	kg
Lemak	= 0,0097	x 1900 = 18,43	kg
Protein	= 0,0232	x 1900 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,296	x 1900 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,2086	x 1900 = 396,34	kg
Air	= 0,1	x 1900 = 190	kg
<b>Total</b>		<b>2090</b>	<b>kg</b>

**<Aliran 11>**

Air	4243,333	kg
-----	----------	----

**<Aliran 12>**

Abu	= 0,4625	x 1900 = 878,75	kg
Lemak	= 0,0097	x 1900 = 18,43	kg
Protein	= 0,0232	x 1900 = 44,08	kg
Serat kasar	= 0,296	x 1900 = 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,2086	x 1900 = 396,34	kg
Air	= 2,333333	x 1900 = 4433,333	kg
<b>Total</b>		<b>6333,333</b>	<b>kg</b>

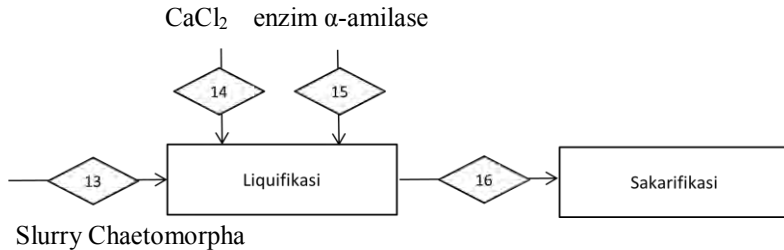
**Tabel A.9 Neraca Massa Komponen pada Proses Pencampuran**

<b>Neraca Masuk</b>		<b>Neraca Keluar</b>	
<b>Komponen</b>	<b>Berat (kg)</b>	<b>Komponen</b>	<b>Berat (kg)</b>
<b>Aliran 10</b>		<b>Aliran 12</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	396,34	Karbohidrat	396,34
Air	190	Air	4433,333
	<b>2090</b>		
<b>Aliran 11</b>			
Air	4243,333		
	<b>6333,333</b>		<b>6333,333</b>

### A.3 Tahap Hidrolisa Enzim

#### A.3.1 Tahap Liquifikasi

Fungsi : untuk mengubah pati menjadi dekstrin dengan penambahan enzim  $\alpha$ -amilase



#### <Aliran <13>

Abu	= 0,462	x 1900	= 878,75	kg
Lemak	= 0,0097	x 1900	= 18,43	kg
Protein	= 0,0232	x 1900	= 44,08	kg
Serat kasar	= 0,296	x 1900	= 562,4	kg
Karbohidrat	= 0,2086	x 1900	= 366,34	kg
Air			4433,333	kg
<b>Total</b>			<b>6333,333</b>	<b>kg</b>

#### <Aliran 14>

Penambahan CaCl<sub>2</sub> 40 ppm berfungsi untuk menstabilkan kerja enzim

$$\begin{aligned}
 \text{Ca}^{2+} \text{ 40 mg/l sebagai CaCl}_2 &= \frac{BM \text{ CaCl}_2}{BM \text{ Ca}^{2+}} \times 40 \text{ ppm} \\
 &= \frac{111}{40} \times 40 \text{ ppm} \\
 &= 111 \text{ ppm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Karena volume larutan 6333,333333 maka CaCl}_2 \text{ yang dibutuhkan} \\
 = 111 \times 6,333333 &= 702,999963 \text{ g} \\
 &= 0,702999963 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

#### <Aliran 15>

Penambahan enzim  $\alpha$ -amilase 5% dari pati Chaetomorpha,

Kadar pati = 16,71 %

Berat pati dalam chaetomorpha 1900 kg =  $1900 \times 0,1671 \times 1000$   
 = 317490 g  
 = 317,49 kg

$\alpha$ -amilase =  $0,05 \times$  massa pati  
 =  $0,05 \times 317,49$  kg  
 = 15,8745 kg

Sisa karbohidrat = massa total karbohidrat – massa pati  
 = 396,34 kg – 317,49 kg  
 = 78,85 kg

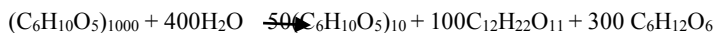
Berat Molekul :

Komponen	BM
$(C_6H_{10}O_5)_{10}$	1620
$C_{12}H_{22}O_{11}$	342
$C_6H_{12}O_6$	180
$(C_6H_{10}O_5)_n$	162000
$H_2O$	18

Konversi pati → Dekstrin, Maltosa, dan Glukosa adalah 30%

Pati memiliki derajat polimerisasi antara 200-20.000

Diasumsikan, n reaksi hidrolisis pati = 1000



mol	$(C_6H_{10}O_5)_{1000}$	$H_2O$	$(C_6H_{10}O_5)_{10}$	$C_{12}H_{22}O_{11}$	$C_6H_{12}O_6$
Mula-mula	1,95621605	351851,9	-	-	-
Reaksi	0,58864815	235,4593	29,432408	58,864815	176,5944
Sisa	1,37351235	351616,4	29,432408	58,864815	176,5944

Dari reaksi liquifikasi pati, maka jumlah massa komponen menjadi :

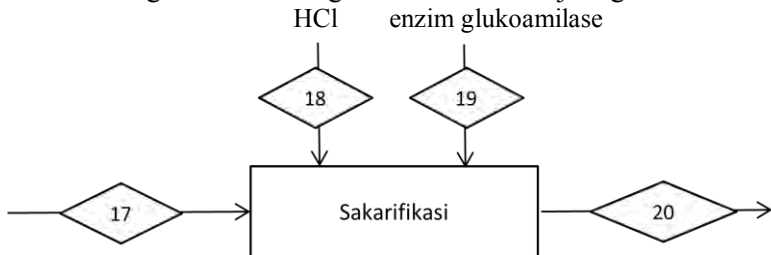
	Komponen	Mol	Massa (kg)
Mula-mula	$(C_6H_{10}O_5)_n$	1,95621605	222,509
	$H_2O$	351851,9	6333,33
Reaksi	$(C_6H_{10}O_5)_n$	0,58864815	95,361
	$H_2O$	235,4593	4,2383
Sisa	$(C_6H_{10}O_5)_n$	1,37351235	222,509
	$H_2O$	351616,4	6329,10
	$(C_6H_{10}O_5)_{10}$	29,432408	47,6805
	$C_{12}H_{22}O_{11}$	58,864815	20,131767
	$C_6H_{12}O_6$	176,5944	31,787

**Tabel A.10** Neraca Massa Komponen pada Proses Liquifikasi

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 13</b>		<b>Aliran 16</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	78,85	Karbohidrat	78,85
Pati	317,49	Pati	222,243
Air	4433,333	Air	4429,10
	<b>6333,333</b>	$CaCl_2$	0,702999963
<b>Aliran 14</b>		Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745
$CaCl_2$	0,702999963	Dekstrin	47,6235
<b>Aliran 15</b>		Maltosa	20,1077
Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745	Glukosa	31,749
	<b>6349,911</b>		<b>6349,911</b>

### A.3.2 Tahap Sakarifikasi

Fungsi : untuk mengubah dekstrin menjadi glukosa



#### <Aliran 17>

Abu	878,75	kg
Lemak	18,43	kg
Protein	44,08	kg
Serat kasar	562,4	kg
Karbohidrat	78,85	kg
Pati	222,243	kg
Air	4429,10	kg
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	kg
Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745	kg
Dekstrin	47,6235	kg
Maltosa	20,1077	kg
Glukosa	31,749	kg
<b>Total</b>	<b>6349,911</b>	<b>kg</b>

#### <Aliran 18>

Pada aliran <17> pH feed = 6

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$6 = -\log [\text{H}^+]$$

$$[\text{H}^+] = 0,000001 \text{ M}$$

$$\text{Konsentrasi feed masuk (M1)} = 0,000001 \text{ M}$$

$$\text{Densitas larutan} = 1,0512 \text{ kg/l}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume larutan (V1)} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{6349,911}{1,0512} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 6040,63 \text{ liter} \\
 \text{pH yang diinginkan} &= 4,5 \\
 \text{pH} &= -\log [H^+] \\
 4,5 &= -\log [H^+] \\
 [H^+] &= 3,162E-05 \text{ M} \\
 \text{Konsentrasi larutan (M3)} &= 3,162E-05 \text{ M} \\
 \text{Konsentrasi HCl yang digunakan 37\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M2 &= \frac{\rho \times \% \times 10}{BM} \\
 &= \frac{1,19 \times 37 \times 10}{36,5} \\
 &= 12,063 \text{ M}
 \end{aligned}$$

Volume HCl yang dibutuhkan (V2) adalah

$$\begin{aligned}
 M1 \cdot V1 &+ M2 \cdot V2 = M3 \cdot V3 \\
 0,000001 \cdot 6040,63 &+ 12,063V2 = 3,162E-05(6040,63-V2) \\
 0,00604063 &+ 12,063V2 = 0,191 - 0,00003162V2 \\
 12,06303162 &V2 = 0,18495937 \\
 V2 &= 0,01533 \text{ liter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa HCl yang dibutuhkan} &= V2 \times \rho \\
 &= 0,01533 \times 1,0512 \\
 &= 0,0161149 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### <Aliran 19>

Penambahan enzim glukoamilase 5% dari pati Chaetomorpha,

Kadar pati = 16,71 %

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pati dalam chaetomorpha 1900 kg} &= 1900 \times 0,1671 \times 1000 \\
 &= 317490 \text{ g} \\
 &= 317,49 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-amilase} &= 0,05 \times \text{massa pati} \\
 &= 0,05 \times 317,49 \text{ kg} \\
 &= 15,8745 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



Berat Molekul :

Komponen	BM
$C_{12}H_{22}O_{11}$	342
$(C_6H_{10}O_5)_n$	162000
$H_2O$	18

- Sakarifikasi Pati  
 Konversi pati → Maltosa adalah 95%  
 Pati memiliki derajat polimerisasi antara 200-20.000  
 Diasumsikan, n reaksi hidrolisis pati = 1000  
 (*Kirk-Othmer, 2001*)

$$(C_6H_{10}O_5)_{1000} + 500 H_2O \rightarrow 500 C_{12}H_{22}O_{11}$$

	mol	$(C_6H_{10}O_5)_{1000}$	$H_2O$	$C_{12}H_{22}O_{11}$
Mula-mula		1,37187037	246061,1185	-
Reaksi		1,30327685	651,6384259	651,6384259
Sisa		0,06859352	245409,4801	651,6384259

Dari reaksi sakarifikasi pati, maka jumlah massa komponen menjadi :

	Komponen	Mol	Massa (kg)
Mula-mula	$(C_6H_{10}O_5)_n$	1,37187037	222,243
	$H_2O$	246061,1185	4429,100133
Reaksi	$(C_6H_{10}O_5)_n$	1,30327685	211,13085
	$H_2O$	651,6384259	11,7295
Sisa	$(C_6H_{10}O_5)_n$	0,06859352	11,11215
	$H_2O$	245409,4801	4417,370642
	$C_{12}H_{22}O_{11}$	651,6384259	222,8603417

- Sakarifikasi Dekstrin  
 Konversi pati → Maltosa adalah 97%  
 Berdasarkan reaksi liquifikasi, n dekstrin = 10

$$(C_6H_{10}O_5)_{10} + 10 H_2O \rightarrow 10 C_6H_{12}O_6$$

	mol	$(C_6H_{10}O_5)_{10}$	$H_2O$	$C_6H_{12}O_6$
Mula-mula		29,397222	245409,4801	
Reaksi		28,51530556	285,1530556	285,1530556
Sisa		0,88191667	245124,327	285,1530556

Dari reaksi sakarifikasi dekstrin, maka jumlah massa komponen menjadi :

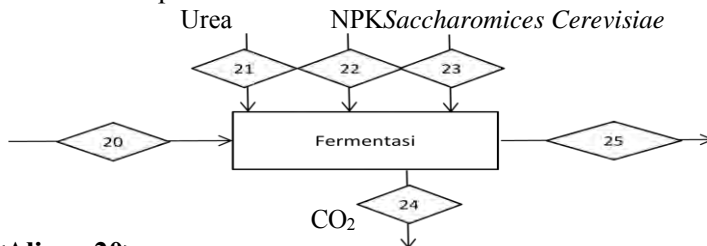
	Komponen	Mol	Massa (kg)
Mula-mula	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>10</sub>	29,397222	47,6235
	H <sub>2</sub> O	245409,4801	4417,370642
Reaksi	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>10</sub>	28,51530556	46,194795
	H <sub>2</sub> O	285,1530556	5,132755
Sisa	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>10</sub>	0,88191667	1,428705
	H <sub>2</sub> O	245124,327	4412,237887
	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	285,1530556	51,32755

**Tabel A.11** Neraca Massa Komponen pada Proses Sakarifikasi

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 17</b>		<b>Aliran 20</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	78,85	Karbohidrat	78,85
Pati	222,243	Pati	11,11215
Air	4429,10	Air	4412,237887
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	CaCl <sub>2</sub>	0,702999963
Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745	Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745
Dekstrin	47,6235	HCl	0,0161149
Maltosa	20,1077	Enzim	15,8745
Glukosa	31,749	glukoamilase	
	<b>6349,911</b>	Dekstrin	1,428705
<b>Aliran 18</b>		Maltosa	242,9680417
HCl		Glukosa	83,070642
<b>Aliran 19</b>			
Enzim	15,8745		
glukoamilase			
	<b>6365,8</b>		<b>6365,8</b>

## A.4 Tahap Fermentasi

Fungsi : untuk mengkonversi gula menjadi etanol dengan penambahan nutrisi



### <Aliran 20>

Abu	878,75	Kg
Lemak	18,43	Kg
Protein	44,08	Kg
Serat kasar	562,4	Kg
Karbohidrat	78,85	Kg
Pati	11,11215	Kg
Air	4412,237887	Kg
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	Kg
Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745	Kg
HCl	0,0161149	Kg
Enzim	15,8745	Kg
glukoamilase		
Dekstrin	1,428705	Kg
Maltosa	242,9680417	Kg
Glukosa	83,070642	Kg
<b>Total</b>	<b>6385,8</b>	<b>Kg</b>

Komponen sirup gula

Komponen	Massa (kg)	Fraksi	Sg	Fraksi x sg
Dekstrin	1,4	0,00030	1,04	0,00031
Maltosa	243	0,05126	1,54	0,07894
Glukosa	83,1	0,01753	1,56	0,02734
Air	4412,2	0,93091	1,00	0,93091
<b>Jumlah</b>	<b>4739,7</b>	<b>1,00000</b>		<b>1,04</b>

$$\begin{aligned}\rho_{\text{sirup gula}} &= \text{jumlah total}_{(\text{fraksi} \times \text{sg})} \times \rho_{\text{air}} \\ &= 1,04 \times 995,03 \\ &= 1034,8312 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume} &= \text{Jumlah total massa}_{\text{komponen}} : \rho_{\text{sirup gula}} \\ &= 4,58017808 \text{ m}^3\end{aligned}$$

### Perhitungan neraca biomass untuk menghitung pertumbuhan yeast :

Dengan menggunakan persamaan “Monod” yaitu :

$$\mu = \frac{\mu_m \times S}{K_s + S} \text{ (Said, Gumbira, 1987)}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}\mu &= \text{rate pertumbuhan spesifik biomass (1/jam)} \\ \mu_m &= \text{rate pertumbuhan spesifik biomass maks} \\ &\quad \text{(0.43 liter/jam)}\end{aligned}$$

$$K_s = \text{konsentrasi jenuh substrat} = \text{rate spesifik produksi etanol} = 25 \text{ mg/l} = 0.025 \text{ g/ml}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{\text{konsentrasi (substrat glukosa)}}{\text{Volume larutan}} \\ &= \frac{83,08}{4,58017808} \text{ kg/m}^3 \\ &= 18,13827944 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu &= \frac{(0,43 \times 18,13827944)}{(0,025 + 18,13827944)} \\ &= 0,429408147 / \text{jam}\end{aligned}$$

### Perhitungan kecepatan pertumbuhan yeast

$$R_v = \mu \times X_{v_0}$$

$$\begin{aligned}X_{v_0} &= \frac{\text{massa biomass}}{\text{volume total}} \\ &= \frac{0,74768895}{4,58017808} \\ &= 0,163244515 \text{ g/ml}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_v &= \mu \times X_{v_0} \\
 &= 0,429408147 \times 0,163244515 \\
 &= 0,070098525 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{jam}
 \end{aligned}$$

### **Pertumbuhan biomass dilakukan 72 jam**

$$\begin{aligned}
 X_{v_t} &= 72 \times X_{v_0} \\
 &= 72 \times 0,070098525 \\
 &= 5,047093772 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Biomass tumbuh} &= X_{v_t} \times \text{Volume larutan} \\
 &= 5,047093772 \times 4,58017808 \\
 &= 23,11658829 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dimana,

$$\begin{aligned}
 X_{v_0} &= \text{konsentrasi mula-mula} \\
 R_v &= \text{kecepatan yeast} \\
 X_{v_t} &= \text{kecepatan tumbuh yeast selama 72 jam}
 \end{aligned}$$

### **Neraca massa biomass**

$$\begin{aligned}
 \text{Biomass keluar} &= \text{yeast masuk} + \text{yeast tumbuh} \\
 &= 0,41538275 + 23,11658829 \\
 &= 23,53197104 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

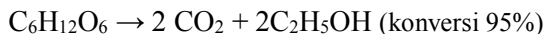
### **Glukosa sisa**

$$\begin{aligned}
 \text{Bahan masuk} &= \text{Bahan keluar} \\
 \text{Bahan masuk} &= \text{Bahan masuk} + \text{massa biomass} \\
 &= 6385,8 + 0,72397 \\
 &= 6386,52397 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Bahan keluar} &= \text{Air} + \text{pati} + \text{serat kasar} + \text{protein} + \\
 &\quad \text{dekstrin} + \text{maltosa} + \text{CaCl}_2 + \alpha\text{-amilase} + \\
 &\quad \text{HCl} + \text{glukoamilase} + \text{glukosa sisa} + \\
 &\quad \text{biomass keluar} \\
 &= 6326,231971 + \text{glukosa sisa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Glukosa sisa} &= \text{Bahan masuk} - \text{bahan keluar} \\
 &= 6386,52397 - 6326,231971 \\
 &= 60,29199896 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

### Reaksi 1



mol	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$\text{CO}_2$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$
Mula-mula	334,957044	-	-
Reaksi	318,2091918	636,4183835	636,4183835
Sisa	16,7478522	636,4183835	636,4183835

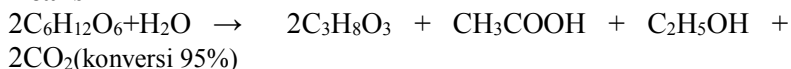
### Neraca mula-mula

Komponen	BM	Massa (g)	Massa(kg)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	180	6029,226791	6,029226791
Total		6029,226791	6,029226791

### Neraca setelah reaksi

Komponen	BM	Massa (g)	Massa(kg)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	180	3014,613396	3,014613396
$\text{CO}_2$	44	28002,40888	28,00240888
$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	46	29275,24564	29,27524564
Total		60292,26791	60,29226791

### Reaksi 2



Mol	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$	$\text{CH}_3\text{COOH}$	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{CO}_2$
Mula-mula	16,747852	245124,3	-	-	-	-
Reaksi	15,910459	7,95523	15,9105	7,95523	7,95523	15,9105
Sisa	0,837393	245116,4	15,9105	7,95523	7,95523	15,9105

### Neraca mula-mula

Komponen	BM	Massa (g)	Massa(kg)
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	180	3014,613396	3,014613396
$\text{H}_2\text{O}$	18	4412237,887	4412,237887
Total		4415252,5	4415,2525

Neraca setelah reaksi

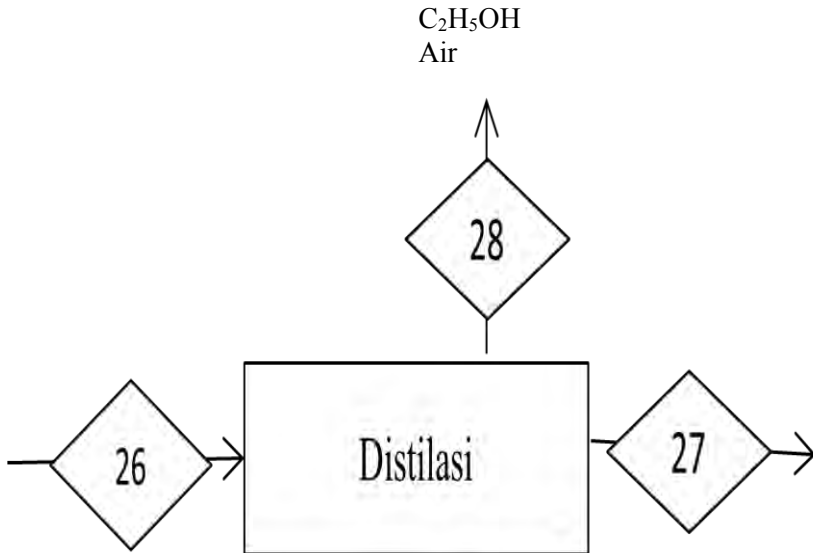
Komponen	BM	Massa (g)	Massa(kg)
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	180	150,73067	0,15073067
H <sub>2</sub> O	18	4412094,6925	4412,0946925
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	92	1463,762282	1,463762282
CH <sub>3</sub> COOH	60	477,313788	0,477313788
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46	365,940571	0,365940571
CO <sub>2</sub>	44	700,060222	0,700060222
Total		4415252,5001	4415,2525001

**Tabel A.12** Neraca Massa Komponen pada Proses Fermentasi

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 20</b>		<b>Aliran 24</b>	
Abu	878,75	Abu	878,75
Lemak	18,43	Lemak	18,43
Protein	44,08	Protein	44,08
Serat kasar	562,4	Serat kasar	562,4
Karbohidrat	78,85	Karbohidrat	78,85
Pati	11,11215	Pati	11,11215
Air	4412,2	Air	4412,2
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	CaCl <sub>2</sub>	0,702999963
Enzim α-amilase	15,8745	Enzim α-amilase	15,8745
HCl	0,0161149	HCl	0,0161149
Enzim	15,8745	Enzim	15,8745
glukoamilase		glukoamilase	
Dekstrin	1,428705	Dekstrin	1,428705
Maltosa	242,9680417	Maltosa	242,9680417
Glukosa	83,1759833	Glukosa	0,1509118
	<b>6349,911</b>	Etanol	29,641186221
<b>Aliran 21</b>		Biomasa	23,5598629
Urea	0,166352	CH <sub>3</sub> COOH	0,47731379
<b>Aliran 22</b>		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1,4655209
NPK	0,166352		<b>6337,817</b>
<b>Aliran 23</b>		<b>Aliran 25</b>	
<i>S.Cereviciae</i>	0,4153532	CO <sub>2</sub>	28,7369529
	<b>6366,62422</b>		<b>6366,62422</b>

### A.5 Tahap Distilasi

Fungsi : untuk mendapatkan kandungan etanol



% kadaretanol = 95%

Distilasi suhu = 78°C

Massa produk = 31,2012 kg

Densitas produk = 0,79955 kg/l

Volume produk =  $\frac{\text{massa produk}}{\text{densitas produk}}$   
= 39,0235 liter

Etanol yang teruapkan =  $\frac{95}{100} \times 31,2012$   
= 29,64118629 kg

Air yang teruapkan =  $\frac{5}{100} \times 31,2012$   
= 1,560062kg



**Tabel A.13** Neraca Massa Komponen pada Proses Distilasi

Neraca Masuk		Neraca Keluar	
Komponen	Berat (kg)	Komponen	Berat (kg)
<b>Aliran 26</b>		<b>Aliran 27</b>	
Abu	878,75	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29,64118621
Lemak	18,43	Air	1,560062
Protein	44,08		<b>31,20124865</b>
Serat kasar	562,4		
Karbohidrat	78,85	Abu	878,75
Pati	11,11215	Lemak	18,43
Air	4412,094693	Protein	44,08
CaCl <sub>2</sub>	0,702999963	Serat kasar	562,4
Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745	Karbohidrat	78,85
HCl	0,0161149	Pati	11,11215
Enzim	15,8745	Air	4410,535
glukoamilase			
Dekstrin	1,428705	CaCl <sub>2</sub>	0,702999963
Maltosa	242,9680417	Enzim $\alpha$ -amilase	15,8745
Glukosa	0,15073067	HCl	0,0161149
Urea	1,661413	Enzim	15,8745
NPK	1,661413	glukoamilase	
<i>S.Cereviciae</i>	23,5319714	Dekstrin	1,428705
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1,46376228	Maltosa	242,9680417
CH <sub>3</sub> COOH	0,47731379	Glukosa	0,15073067
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29,64118621	Urea	1,661413
CO <sub>2</sub>	28,7024691	NPK	1,661413
		<i>S.Cereviciae</i>	23,5319714
		C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1,46376228
		CH <sub>3</sub> COOH	0,47731379
		CO <sub>2</sub>	28,7024691
			<b>6321,71489</b>
	<b>6371,71489</b>		<b>6371,71489</b>

## APPENDIKS B NERACA PANAS

### B.1 Perhitungan Neraca Panas dengan berbagai pendekatan

Data Perhitungan CP:

Elemen	Solid	Liquid	Satuan
C	7,50	11,70	J/mol°C
H	9,60	18,00	J/mol°C
O	16,70	25,10	J/mol°C
B	26,00	33,50	J/mol°C
Ca	41,40	25,9	J/mol°C
F	15,90	34,30	J/mol°C
P and S	20,90	29,30	J/mol°C
All other	22,60	31,00	J/mol°C

Sumber : Coulson & Richardson's, "Chemical Engineering"

CP air :

T (°C)	Kkal/kg°C
30	0,9987
35	1,0002975
60	1,0001
90	1,005

Sumber : Geankoplis, (Appendiks A,2-5)

CP Bahan:

Komponen	Rumus Molekul	Kkal/kg°
Abu	$C_6H_{10}O_5$	0,327526
Lemak	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	0,431725
Protein	$NH_2CH_2CO_2H$	0,304015
Serat kasar	$C_6H_{10}O_5$	0,327526
Karbohidrat	$(C_6H_{12}O_5)_{1000}$	0,351513
Pati	$(C_6H_{12}O_5)_{1000}$	0,327526
Dekstrin	$(C_6H_{12}O_5)_{10}$	0,327526
Maltosa	$C_{12}H_{22}O_{11}$	0,335027
Glukosa	$C_6H_{12}O_6$	0,341778
Bioetanol	$C_2H_5OH$	0,461385
HCl	HCl	0,19
CaCl <sub>2</sub>	CaCl <sub>2</sub>	0,164

Enzim $\alpha$ -amilase	0,3198
Enzim	0,0006
Glukoamilase	
Urea	0,32
S,Sereviciae	1,292
Udara	0,22
Biomass	0,32
CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> 0,124
Gliserol	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub> 0,54

Data Hc pembakaran yang dibutuhkan

Komponen	Hc (kal/mol)
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	-4177000
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	-1348900
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	-673000
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-326700
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	-396270
CH <sub>3</sub> COOH	-208340

Sumber : Hougen, p-306

Data Hf pembakaran yang dibutuhkan

Komponen	Hf (kal/mol)
H <sub>2</sub> O	-68317,4
C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub>	3271102,2
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	-531213
C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>	-301215,2
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	-66357,8
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	-159155
CH <sub>3</sub> COOH	-116395,6
CO <sub>2</sub>	-94051,8
Dekstrin	3202102,2

Sumber : Hougen, p-306

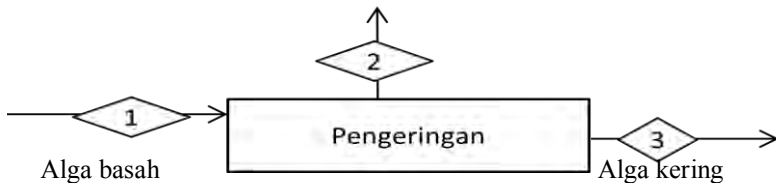
## B.2 Perhitungan Neraca Panas

Kapasitas : 31 kg bioetanol/hari ;  
 9300 kg bioetanol/tahun  
 Operasi : 300 hari/tahun; 12 jam/hari  
 Satuan Massa : Calorie  
 Basis Waktu : 1 hari  
 Suhu reference ( $T_{ref}$ ) : 25°C

### B.2.1 Pengeringan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Fungsi : untuk mengurangi kadar air yang terkandung  
 dalam Alga hijau (*Chaetomorpha*)

Kondisi operasi :  $T = 60^{\circ}\text{C}$   
 $t = 24$  jam  
 $P = 1$  atm



**Tabel B.1** H Masuk pada Pengeringan Alga Hijau  
 (*Chaetomorpha*)

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-T <sub>ref</sub>	H
<b>Aliran 1</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	396340	0,351513	30	5	696593,3121
Air	2850000	0,9987	30	5	14231475
					<b>17394927,15</b>

**Tabel B.2** H Keluar pada Pengeringan Alga Hijau  
(*Chaetomorpha*)

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 2</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	396340	0,351513	60	35	4876153,185
Air (dalam alga)	190000	1,0001	60	35	6650665
					<b>28794830,06</b>
<b>Aliran 3</b>					
Air	2660000	2358,47	60	35	6273530200
					<b>6302325030</b>

### Menghitung Harga Q supply

$$\begin{aligned}
 P &= 40000 \text{ watt} \\
 &= 40000 \text{ watt} \times \left( \frac{14,33 \text{ cal/menit}}{1 \text{ watt}} \right) \\
 &= 573200 \text{ cal/menit} \\
 t &= 24 \text{ jam} \times \left( \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} \right) \\
 &= 1440 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q \text{ supply} &= P \times t \\
 &= 573200 \text{ cal/menit} \times 1440 \text{ menit} \\
 &= 8254080000 \text{ cal}
 \end{aligned}$$

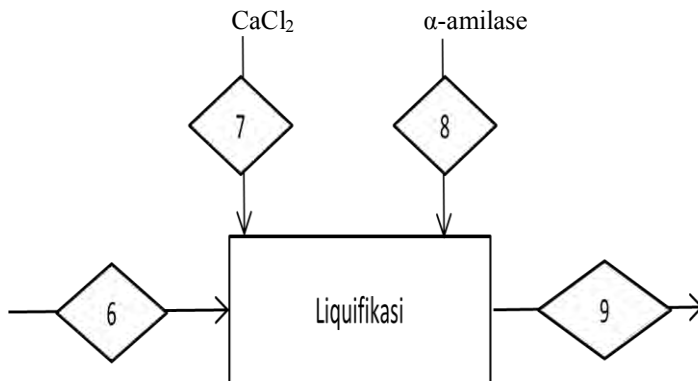
**Tabel B.3** Neraca Panas Total pada Pengeringan Alga Hijau (*Chaetomorpha*)

Komponen Masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	1439067,363	Abu	10073471,54
Lemak	397834,5875	Lemak	278484,2113
Pprotein	67004,906	Protein	469034,342
Serat kasar	921003,112	Serat kasar	6447021,784
Karbohidrat	696593,3121	Karbohidrat	4876153,185
Air	14231475	Air (dalam alga)	6650665
Q supply	8254080000	Air	6273530200
		Q loss	1969149897
	<b>8271474927</b>		<b>8271474927</b>

### B.2.2 Tahap Liquifikasi

Fungsi : untuk mengubah pati menjadi dekstrin dengan penambahan enzim  $\alpha$ -amilase

Kondisi operasi :  
 T = 90°C  
 t = 2 jam  
 P = 1 atm



**Tabel B.4** H Masuk pada Liquifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 6</b>					
Abu	878750	0,327526	90	65	18707875,71
Lemak	18430	0,431725	90	65	517184,9638
Protein	44080	0,304015	90	65	871063,778
Serat kasar	562400	0,327526	90	65	11973040,46
Karbohidrat	78850	0,351513	90	65	1801592,003
Pati	317490	0,327526	90	65	6759104,933
Air	4433333	1,005	90	65	289607478,2
					<b>330237340</b>
<b>Aliran 7</b>					
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	90	65	7493,979606
<b>Aliran 8</b>					
α-amilase	15874,5	0,3198	90	65	329983,2315
					<b>330574817,3</b>

### Menghitung Harga Q supply

$$\begin{aligned}
 P &= 17000 \text{ watt} \\
 &= 17000 \text{ watt} \times \left( \frac{14,33 \text{ kal/menit}}{1 \text{ watt}} \right) \\
 &= 243610 \text{ cal/menit} \\
 t &= 2 \text{ jam} \times \left( \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} \right) \\
 &= 120 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q \text{ supply} &= P \times t \\
 &= 243610 \text{ cal/menit} \times 120 \text{ menit} \\
 &= 29233200 \text{ cal}
 \end{aligned}$$

**Tabel B.5** H Keluar pada Liquifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 9</b>					
Abu	87875	0,327526	90	65	18707875,71
Lemak	1843	0,431725	90	65	517184,9638
Protein	4408	0,304015	90	65	871063,778
Serat kasar	56240	0,327526	90	65	11973040,46
Karbohidrat	7885	0,351513	90	65	1801592,003
Pati	22224,43	0,327526	90	65	4731401,129
Air	442910	1,005	90	65	289330957,5
CaCl <sub>2</sub>	70,2999963	0,164	90	65	7493,979606
α-amilase	1587,45	0,3198	90	65	329983,2315
Dekstrin	4762,35	0,327526	90	65	1013865,74
Maltosa	2010,77	0,335027	90	65	437880,4565
Glukosa	3174,9	0,341778	90	65	705322,1319
					<b>330427661,1</b>



mol	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>1000</sub>	H <sub>2</sub> O	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>10</sub>	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
Mula-mula	1,95621605	351851,9	-	-	-
Reaksi	0,58864815	235,4593	29,432408	58,864815	176,5944
Sisa	1,37351235	351616,4	29,432408	58,864815	176,5944

$$\text{Hf reaktan} = \text{mol} \times \text{Hf}$$

- $$\begin{aligned} \text{Hf } (C_6H_{10}O_5)_{1000} &= \text{mol} \times \text{Hf } (C_6H_{10}O_5)_{1000} \\ &= 0,58864815 \times 3271102,2 \\ &= 1925528,258 \text{ cal} \end{aligned}$$



- $$\begin{aligned} \bullet \quad \text{Hf H}_2\text{O} &= \text{mol} \times \text{Hf H}_2\text{O} \\ &= 235,4593 \times (-68317,4) \\ &= -16085967,18 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf reaktan} &= \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{1000} + \text{Hf H}_2\text{O} \\ &= 1925528,258 + (-16085967,18) \\ &= -14160438,92 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\text{Hf product} = \text{mol} \times \text{Hf}$$

- $$\begin{aligned} \bullet \quad \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{10} &= \text{mol} \times \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{10} \\ &= 29,432408 \times 3271102,2 \\ &= 96276414,56 \text{ cal} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \bullet \quad \text{Hf C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} &= \text{mol} \times \text{Hf C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \\ &= 58,864815 \times (-531213) \\ &= -31269754,97 \text{ cal} \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \bullet \quad \text{Hf C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 &= \text{mol} \times \text{Hf C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \\ &= 176,5944 \times (-301215,2) \\ &= -53192917,51 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf product} &= \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{10} + \text{Hf C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} + \\ &\quad \text{Hf C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \\ &= 96276414,56 + (-31269754,97) + \\ &\quad (-53192917,51) \\ &= 11813742,07 \text{ cal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta\text{H reaksi} &= \text{Hf product} - \text{Hf reaktan} \\ &= 11813742,07 - (-14160438,92) \\ &= 25974181 \text{ cal} \end{aligned}$$

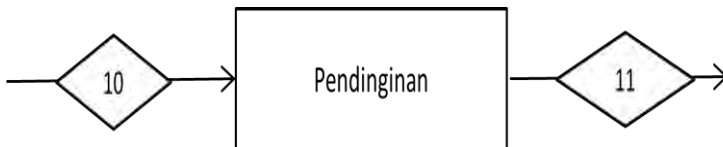
**Tabel B.6** Neraca Panas Total pada Liquifikasi

Komponen masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	18707875,71	Abu	18707875,71
Lemak	517184,9638	Lemak	517184,9638
Protein	871063,778	Protein	871063,778
Serat kasar	11973040,46	Serat kasar	11973040,46
Karbohidrat	1801592,003	Karbohidrat	1801592,003
Pati	6759104,933	Pati	4731401,129
Air	289607478,2	Air	289330957,5
CaCl <sub>2</sub>	7493,979606	CaCl <sub>2</sub>	7493,979606
$\alpha$ -amilase	329983,2315	$\alpha$ -amilase	329983,2315
Q supply	29233200	Dekstrin	1013865,74
		Maltosa	437880,4565
		Glukosa	705322,1319
		$\Delta H$ reaksi	25974181
		Q loss	3406175,176
<b>359808017,3</b>		<b>359808017,3</b>	

### B.2.3 Tahap Pendinginan setelah Liquifikasi

Fungsi : menurunkan suhu 90°C menjadi 60°C sebelum diproses ke tahap sakarifikasi

Kondisi operasi : T = 60°C  
P = 1 atm



**Tabel B.7** H Masuk pada Pendinginan setelah Liquifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 10</b>					
Abu	878750	0,327526	90	65	18707875,71
Lemak	18430	0,431725	90	65	517184,9638
Protein	44080	0,304015	90	65	871063,778
Serat kasar	562400	0,327526	90	65	11973040,46
Karbohidrat	78850	0,351513	90	65	1801592,003
Pati	222244,3	0,327526	90	65	4731401,129
Air	4429100	1,005	90	65	289330957,5
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	90	65	7493,979606
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	90	65	329983,2315
Dekstrin	47623,5	0,327526	90	65	1013865,74
Maltosa	20107,7	0,335027	90	65	437880,4565
Glukosa	31749	0,341778	90	65	705322,1319
					<b>330427661,1</b>

**Tabel B.8** H Keluar pada Pendinginan setelah Liquifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 11</b>					
Abu	87875	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	1843	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	4408	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	56240	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	7885	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	22224,43	0,327526	60	35	2547677,531
Air	442910	1,001	60	35	155173518,5
CaCl <sub>2</sub>	70,2999963	0,164	60	35	4035,219788
$\alpha$ -amilase	1587,45	0,3198	60	35	177683,2785

Dekstrin	4762,35	0,327526	60	35	545927,7061
Maltosa	2010,77	0,335027	60	35	235781,7843
Glukosa	3174,9	0,341778	60	35	379788,8403
					<b>177302512,7</b>

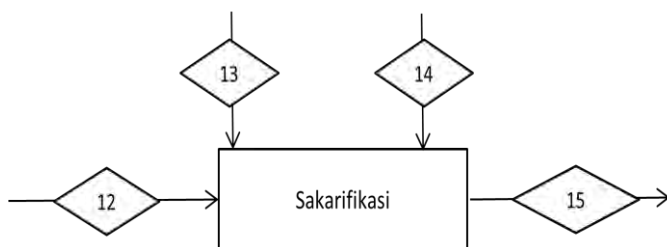
**Tabel B.9** Neraca Panas Total pada Pendinginan setelah  
Liquifikasi

Komponen masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	18707875,71	Abu	10073471,54
Lemak	517184,9638	Lemak	278484,2113
Protein	871063,778	Protein	469034,342
Serat kasar	11973040,46	Serat kasar	6447021,784
Karbohidrat	1801592,003	Karbohidrat	970088,0018
Pati	4731401,129	Pati	2547677,531
Air	289330957,5	Air	155173518,5
CaCl <sub>2</sub>	7493,979606	CaCl <sub>2</sub>	4035,219788
$\alpha$ -amilase	329983,2315	$\alpha$ -amilase	177683,2785
Dekstrin	1013865,74	Dekstrin	545927,7061
Maltosa	437880,4565	Maltosa	235781,7843
Glukosa	705322,1319	Glukosa	379788,8403
		Q loss	153125148,3
<b>330427661,1</b>		<b>330427661,1</b>	

#### B.2.4 Tahap Sakarifikasi

Fungsi : untuk mengubah dekstrin menjadi glukosa

Kondisi operasi :      T      = 60°C  
                                      t      = 4 jam  
                                      P      = 1 atm



**Tabel B.10 H Masuk pada Sakarifikasi**

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 12</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	78850	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	222244,3	0,327526	60	35	2547677,531
Air	4429100	1,0002975	60	35	155064618
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	60	35	4035,219788
α-amilase	15874,5	0,3198	60	35	177683,2785
Dekstrin	47623,5	0,327526	60	35	545927,7061
Maltosa	20107,7	0,335027	60	35	235781,7843
Glukosa	31749	0,341778	60	35	379788,8403
					<b>177193612,2</b>
<b>Aliran 13</b>					
HCl	16,11490000	0,19	60	35	107,164085
<b>Aliran 14</b>					
Glukoamilase	15874,5	0,0006	60	35	333,3645
					<b>177194052,8</b>

**Tabel B.11 H Keluar pada Sakarifikasi**

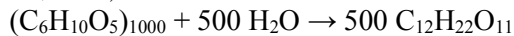
Komponen	Massa (gram)	Cp	T (°C)	T-Tref	H
<b>Aliran 15</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
Protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
Serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
Karbohidrat	78850	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	11112,15	0,327526	60	35	127383,1314
Air	4412237,887	1,0002975	60	35	154474268,5
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	60	35	4035,219788
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	60	35	177683,2785
Dekstrin	1428,705	0,327526	60	35	16377,83118
Maltosa	242968,0417	0,335027	60	35	2849029,894
Glukosa	83070,642	0,341778	60	35	993710,1259
HCl	16,1149	0,19	60	35	107,164085
Glukoamilase	15874,5	0,0006	60	35	333,3645
					<b>176881028,4</b>

### I. Sakarifikasi Pati

Konversi pati → Maltosa adalah 95%

Pati memiliki derajat polimerisasi antara 200-20,000

Diasumsikan, n reaksi hidrolisis pati = 1000 (*Kirk-Othmer, 2001*)



mol	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>1000</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>
Mula-mula	1,37187037	246061,1185	-
Reaksi	1,30327685	651,6384259	651,6384259
Sisa	0,06859352	245409,4801	651,6384259

$$\text{Hf reaktan} = \text{mol} \times \text{Hf}$$

- $$\begin{aligned} \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{1000} &= \text{mol} \times \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{1000} \\ &= 1,30327685 \times 3271102,2 \\ &= 4263151,771 \text{ kal} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} \text{Hf H}_2\text{O} &= \text{mol} \times \text{Hf H}_2\text{O} \\ &= 651,6384259 \times (-68317,4) \\ &= -44518243 \text{ kal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf reaktan} &= \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{1000} + \text{Hf H}_2\text{O} \\ &= 4263151,771 + (-4451824,3) \\ &= -40255091,23 \text{ kal} \end{aligned}$$

$$\text{Hf product} = \text{mol} \times \text{Hf}$$

- $$\begin{aligned} \text{Hf C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} &= \text{mol} \times \text{Hf C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \\ &= 651,6384259 \times (-531213) \\ &= -346158803,1 \text{ kal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Hf product} &= \text{Hf C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \\ &= -346158803,1 \text{ kal} \end{aligned}$$

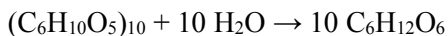
$$\begin{aligned} \Delta\text{H reaksi 1} &= \text{Hf product} - \text{Hf reaktan} \\ &= -346158803,1 - (-40255091,23) \\ &= -305903711,9 \text{ kal} \end{aligned}$$

## II. Sakarifikasi Dekstrin

Sakarifikasi Dekstrin

Konversi pati → Maltosa adalah 97%

Berdasarkan reaksi liquifikasi, n dekstrin = 10



mol	(C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> ) <sub>10</sub>	H <sub>2</sub> O	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub> O <sub>6</sub>
Mula-mula	29,397222	245409,4801	
Reaksi	28,51530556	285,1530556	285,1530556
Sisa	0,88191667	245124,327	285,1530556

**Hf reaktan = mol x Hf**

- Hf (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>10</sub>** = **mol x Hf (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>10</sub>**  
 = 28,51530556 x 3271102,2  
 = 93276478,75 kal
- Hf H<sub>2</sub>O** = **mol x Hf H<sub>2</sub>O**  
 = 285,1530556 x (-68317,4)  
 = -19480915,36 kal

$$\begin{aligned}
 \text{Hf reaktan} &= \text{Hf (C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{)}_{10} + \text{Hf H}_2\text{O} \\
 &= 93276478,75 + (-1948091,536) \\
 &= 73795563,39 \text{ kal}
 \end{aligned}$$

**Hf product = mol x Hf**

- Hf C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>** = **mol x Hf C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>**  
 = 285,1530556 x (-301215,2)  
 = -85891434,67 kal

$$\begin{aligned}
 \text{Hf product} &= \text{Hf C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11} \\
 &= -85891434,67 \text{ kal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ reaksi 2} &= \text{Hf product} - \text{Hf reaktan} \\
 &= -85891434,67 - 73795563,39 \\
 &= -159687998,1 \text{ kal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ reaksi total} &= \Delta H \text{ reaksi 1} + \Delta H \text{ reaksi 2} \\
 &= -305903711,9 + (-159687998,1) \\
 &= -625279708
 \end{aligned}$$



**Menghitung Harga Q supply**

$$\begin{aligned}
 P &= 17000 \text{ watt} \\
 &= 17000 \text{ watt} \times \left( \frac{14,33 \text{ kal/menit}}{1 \text{ watt}} \right) \\
 &= 243610 \text{ cal/menit} \\
 t &= 2 \text{ jam} \times \left( \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} \right) \\
 &= 120 \text{ menit} \\
 Q \text{ supply} &= P \times t \\
 &= 243610 \text{ cal/menit} \times 120 \text{ menit} \\
 &= 29233200 \text{ cal}
 \end{aligned}$$

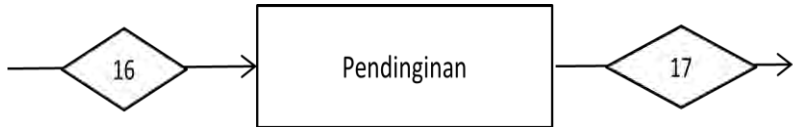
**Tabel B.12 Neraca Panas Total pada Sakarifikasi**

<b>Komponen masuk</b>	<b>H masuk</b>	<b>Komponen keluar</b>	<b>H Keluar</b>
Abu	10073471,54	Abu	10073471,54
Lemak	278484,2113	Lemak	278484,2113
Protein	469034,342	Protein	469034,342
Serat kasar	6447021,784	Serat kasar	6447021,784
Karbohidrat	970088,0018	Karbohidrat	970088,0018
Pati	2547677,531	Pati	127383,1314
Air	155064618	Air	154474268,5
CaCl <sub>2</sub>	4035,219788	CaCl <sub>2</sub>	4035,219788
α-amilase	177683,2785	α-amilase	177683,2785
Dekstrin	545927,7061	Dekstrin	16377,83118
Maltosa	235781,7843	Maltosa	2849029,894
Glukosa	379788,8403	Glukosa	993710,1259
HCl	107,164085	HCl	107,164085
Glukoamilase	333,3645	Glukoamilase	333,3645
Q supplay	29233200	Q loss	654825932,4
		ΔH reaksi	-625279708
	<b>206427252,8</b>		<b>206427252,8</b>

### B.2.5 Tahap Pendinginan setelah Sakarifikasi

Fungsi : menurunkan suhu 60°C menjadi 30°C sebelum diproses ke tahap fermentasi

Kondisi operasi :     T     = 30°C  
                              P     = 1 atm



**Tabel B.13** H Masuk pada Pendinginan setelah Sakarifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 16</b>					
Abu	878750	0,327526	60	35	10073471,54
Lemak	18430	0,431725	60	35	278484,2113
protein	44080	0,304015	60	35	469034,342
serat kasar	562400	0,327526	60	35	6447021,784
karbohidrat	78850	0,351513	60	35	970088,0018
Pati	11112,15	0,327526	60	35	127383,1314
Air	4412237,887	1,0001	60	35	154443768,9
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	60	35	4035,219788
α-amilase	15874,5	0,3198	60	35	177683,2785
dekstrin	1428,705	0,327526	60	35	16377,83118
maltosa	242968,0417	0,335027	60	35	2849029,894
glukosa	83070,642	0,341778	60	35	993710,1259
HCl	16,1149	0,19	60	35	107,164085
Glukoamilase	15874,5	0,0006	60	35	333,3645
					<b>176850528,8</b>

**Tabel B.14** H Keluar pada Pendinginan setelah Sakarifikasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T-Tref	H
<b>Aliran 17</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412237,887	0,9987	30	5	22032509,89
CaCl <sub>2</sub>	702,999963	0,164	30	5	576,4599697
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,690169
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	83070,642	0,341778	30	5	141958,5894
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,309155
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
					<b>25233475,59</b>

**Tabel B.15** Neraca Panas Total pada Pendinginan setelah Sakarifikasi

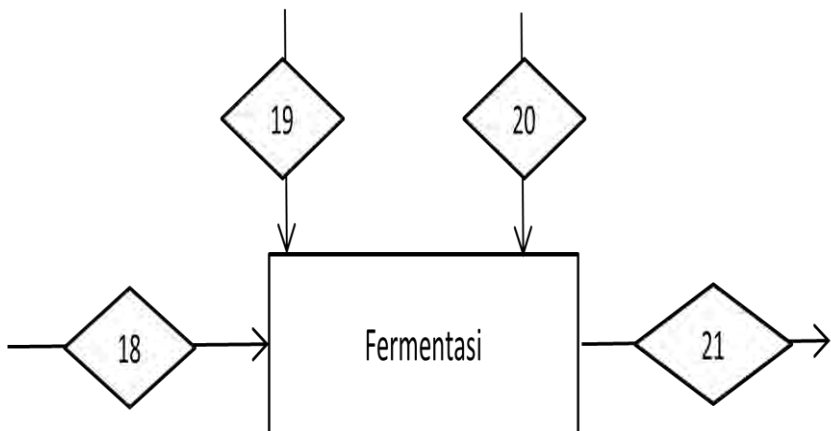
Komponen masuk	H masuk	Komponen keluar	H Keluar
Abu	10073471,54	Abu	1439067,363
Lemak	278484,2113	Lemak	39783,45875
Protein	469034,342	Protein	67004,906
Serat kasar	6447021,784	Serat kasar	921003,112
Karbohidrat	970088,0018	Karbohidrat	138584,0003
Pati	127383,1314	Pati	18197,5902
Air	154443768,9	Air	22032509,89

CaCl <sub>2</sub>	4035,219788	CaCl <sub>2</sub>	576,4599697
$\alpha$ -amilase	177683,2785	$\alpha$ -amilase	25383,3255
Dekstrin	16377,83118	Dekstrin	2339,690169
Maltosa	2849029,894	Maltosa	407004,2705
Glukosa	993710,1259	Glukosa	141958,5894
HCl	107,164085	HCl	15,309155
Glukoamilase	333,3645	Glukoamilase	47,6235
		Q Loss	151617052,4
<b>17685052,88</b>		<b>176850528,8</b>	

### B.2.6 Tahap Fermentasi

Fungsi : untuk mengkonversi gula menjadi etanol dengan penambahan nutrisi

Kondisi operasi :      T      = 30°C  
                                      t      = 72 jam  
                                      P      = 1 atm



**Tabel B.16** H Masuk pada Fermentasi

<b>Komponen</b>	<b>Massa (gram)</b>	<b>Cp</b>	<b>T</b>	<b>T- Tref</b>	<b>H</b>
<b>Aliran 18</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412212,638	0,9987	30	5	22032383,81
CaCl <sub>2</sub>	702,99996	0,164	30	5	576,45997
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,30916
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,69017
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	83175,98333	0,341778	30	5	142138,6062
					<b>25233529,52</b>
<b>Aliran 19</b>					
Nutrien	33,270393	0,4473	30	5	744,09234
<b>Aliran 20</b>					
yeast	41,587992	0,4473	30	5	930,1154411
					<b>25235203,73</b>

**Tabel B.17** H Keluar pada Fermentasi

<b>Komponen</b>	<b>Massa (gram)</b>	<b>Cp</b>	<b>T</b>	<b>T- Tref</b>	<b>H</b>
<b>Aliran 21</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412069,272	0,9987	30	5	22031667,91
CaCl <sub>2</sub>	00702,99996	0,164	30	5	576,45997
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,30916
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,69017
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	150,91176	0,341778	30	5	257,8916
Etanol	29676,79776	0,461385	30	5	68462,14667
Co <sub>2</sub>	28736,95285	0,124	30	5	17816,91077
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1465,52088	0,54	30	5	3956,90638
Biomasa	23559,86286	0,32	30	5	37695,78058
CH <sub>3</sub> COOH	477,88724	0,579987253	30	5	1385,84254
					<b>25220250,5</b>

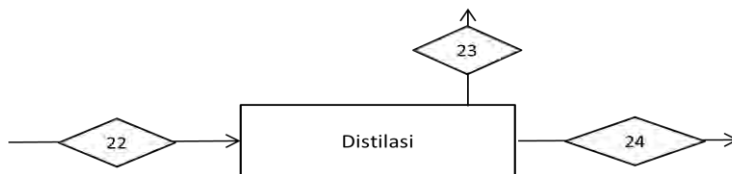
**Tabel B.18** Neraca Panas Total pada Fermentasi

Komponen	H masuk	Komponen	H keluar
Abu	1439067,363	Abu	1439067,363
Lemak	39783,45875	Lemak	39783,45875
Protein	67004,906	Protein	67004,906
Serat kasar	921003,112	Serat kasar	921003,112
Karbohidrat	138584,0003	Karbohidrat	138584,0003
Pati	18197,5902	Pati	18197,5902
Air	22032383,81	Air	22031667,91
CaCl <sub>2</sub>	576,45997	CaCl <sub>2</sub>	576,45997
$\alpha$ -amilase	25383,3255	$\alpha$ -amilase	25383,3255
HCl	15,30916	HCl	15,30916
Glukoamilase	47,6235	Glukoamilase	47,6235
Dekstrin	2339,69017	Dekstrin	2339,69017
Maltosa	407004,2705	Maltosa	407004,2705
Glukosa	142138,6062	Glukosa	257,8916
Nutrien	744,0923394	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	68462,14667
Yeast	930,1154411	CO <sub>2</sub>	17816,91077
		Gliserol	3956,90638
		Biomasa	37695,78058
		CH <sub>3</sub> COOH	1385,84254
		$\Delta H$ reaksi	-6384712,382
		Q Loss	6399665,617
	<b>25235203,73</b>		<b>25235203,73</b>

**B.2.7 Tahap Distilasi**

Fungsi : untuk mendapatkan kandungan etanol

Kondisi operasi :      T      = 78°C  
                                      t      = 6 jam  
                                      P      = 1 atm



**Tabel B.19** H Masuk pada Distilasi

Komponen	Massa (gram)	Cp	T	T- Tref	H
<b>Aliran 22</b>					
Abu	878750	0,327526	30	5	1439067,363
Lemak	18430	0,431725	30	5	39783,45875
Protein	44080	0,304015	30	5	67004,906
Serat kasar	562400	0,327526	30	5	921003,112
Karbohidrat	78850	0,351513	30	5	138584,0003
Pati	11112,15	0,327526	30	5	18197,5902
Air	4412069,272	0,9987	30	5	22031667,91
CaCl <sub>2</sub>	702,99996	0,164	30	5	576,45997
$\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	30	5	25383,3255
HCl	16,1149	0,19	30	5	15,30916
Glukoamilase	15874,5	0,0006	30	5	47,6235
Dekstrin	1428,705	0,327526	30	5	2339,69017
Maltosa	242968,0417	0,335027	30	5	407004,2705
Glukosa	150,73067	0,341778	30	5	257,5821347
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29641,18621	0,461385	30	5	68379,9935
CO <sub>2</sub>	28702,4691	0,124	30	5	17795,53084
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1463,76228	0,54	30	5	3952,158156
Biomasa	26854,7984	0,32	30	5	42967,67744
CH <sub>3</sub> COOH	477,31379	0,579987253	30	5	1384,179569
					<b>25225412,14</b>



**Tabel B.20 H Keluar pada Distilasi**

<b>Komponen</b>	<b>Massa (gram)</b>	<b>Cp</b>	<b>T</b>	<b>T-Tref</b>	<b>H</b>
<b>Aliran 23</b>					
Abu	878750	0,327526	78	53	15254114,04
Lemak	18430	0,431725	78	53	421704,6628
Protein	44080	0,304015	78	53	710252,0036
Serat kasar	562400	0,327526	78	53	9762632,987
Karbohidrat	78850	0,351513	78	53	1468990,403
Pati	11112,15	0,327526	78	53	192894,4562
Air	4410535	0,9987	78	53	233454469,1
CaCl <sub>2</sub>	702,99996	0,164	78	53	6110,475652
Enzim $\alpha$ -amilase	15874,5	0,3198	78	53	269063,2503
HCl	16,1149	0,19	78	53	162,277043
Enzim glukoamilase	15874,5	0,0006	78	53	504,8091
Dekstrin	1428,705	0,327526	78	53	24800,71579
Maltosa	242968,0417	0,335027	78	53	4314245,268
Glukosa	150,73067	0,341778	78	53	2730,370627
biomasa	26854,7974	0,579987253	78	53	825498,3292
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	1463,76228	0,146552088	78	53	11369,42318
CH <sub>3</sub> COOH	477,31379	0,047788724	78	53	1208,9415
CO <sub>2</sub>	28702,4691	0,124	78	53	188632,6269
					<b>266909384,2</b>
<b>Aliran 24</b>					
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	29641,18621	0,461385	78	53	724827,9311
Air	1560,062	0,9987	78	53	164086,41
					<b>888914,3411</b>
					<b>267798298,5</b>

**Tabel B.21** Neraca Panas Total pada Distilasi

<b>Komponen</b>	<b>H masuk</b>	<b>Komponen</b>	<b>H keluar</b>
Abu	1439067,363	Abu	15254114,04
Lemak	39783,45875	Lemak	421704,6628
Protein	67004,906	Protein	710252,0036
Serat kasar	921003,112	Serat kasar	9762632,987
Karbohidrat	138584,0003	Karbohidrat	1468990,403
Pati	18197,5902	Pati	192894,4562
Air	22031667,91	Air	233454469,1
CaCl <sub>2</sub>	576,45997	CaCl <sub>2</sub>	6110,475652
$\alpha$ -amilase	25383,3255	Enzim $\alpha$ -amilase	269063,2503
HCl	15,30916	HCl	162,277043
Glukoamilase	47,6235	Enzim glukoamilase	504,8091
Dekstrin	2339,69017	Dekstrin	24800,71579
Maltosa	407004,2705	Maltosa	4314245,268
Glukosa	257,5821347	Glukosa	2730,370627
C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	68379,9935	Biomasa	825498,3292
CO <sub>2</sub>	17795,53084	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> O <sub>3</sub>	11369,42318
Gliserol	3952,158156	CH <sub>3</sub> COOH	1208,9415
Biomasa	42967,67744	CO <sub>2</sub>	18863,26269
CH <sub>3</sub> COOH	1384,179569	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	724827,9311
Q supply	29233200	Air	164086,41
		Q loss	-213339686
	<b>54458612,14</b>		<b>54458612,14</b>

## **BIODATA PENULIS I**



Penulis I bernama Fajar Arif Widodo, dilahirkan di Surabaya, 25 November 1993 yang merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Aisyah 27 Surabaya pada tahun 2000, lulus dari SD Muhammadiyah 14 Surabaya pada tahun 2006, lulus dari SMP Negeri 20 Surabaya pada tahun 2009 dan lulus dari SMA Negeri 11 Surabaya pada tahun 2012. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Program Studi Diploma III Teknik Kimia FTI - ITS dengan Nomor Registrasi 2312 030 004. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Ahli Bidang “Komunikasi dan Informasi” Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia FTI - ITS (2014-2015), serta beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PG. Redjo Agung Baru, Madiun

Email : [fajar.widoo@gmail.com](mailto:fajar.widoo@gmail.com)

## BIODATA PENULIS II



Penulis II bernama Istiqfarin, dilahirkan di Tulungagung, 28 Februari 1994 yang merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu lulus dari TK Al-Azhaar Tulungagung tahun 2000, lulus dari SDI Al-Azhaar Tulungagung pada tahun 2006, lulus dari MTsN Tulungagung pada tahun 2009 dan lulus dari SMA Negeri 1 Boyolangu pada tahun 2012. Setelah lulus SMA, penulis diterima di Program Studi Diploma III Teknik Kimia FTI-ITS dengan Nomor Registrasi 2312 030 072. Selama kuliah penulis aktif berorganisasi sebagai Staff Bidang Keprofesian dan Keilmiahan Himpunan Mahasiswa DIII Teknik Kimia FTI- ITS (2013-2014), serta beberapa pelatihan dan seminar yang diadakan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PG. Modjopanggoong, Tulungagung

Email : fariinsy@gmail.com